

平成 29 年度環境省委託事業

平成 29 年度低炭素製品普及に向けた3R体制構築支援事業

炭素繊維及び太陽電池リサイクルの
設備共用による早期事業化

報告書

平成 30 年 2 月 28 日

株式会社新菱

目次

要約	4
Summary	17
1 背景および目的	31
2 実証事業の概要	32
2.1 実施項目	32
3 実証事業の結果	33
3.1 廃CF・廃PVパネルの両方を処理可能なリサイクル設備の開発	33
3.1.1 共用パイロット炉の開発	33
1) 加熱方式	33
2) 炉出入口シール方式	34
3) 搬送方式	34
4) 廃熱回収方法	34
5) 共用パイロット炉仕様	34
3.1.2 共用炉運転条件決定のための予備検討	35
1) PVパネル割れの可能性に関する化学工学的シミュレーション	35
(1) 目的	35
(2) 検討方法	35
(3) シミュレーションのモデル	35
(4) 検討結果と考察	37
(5) 結論	37
2) CFRP熱分解挙動の把握	38
(1) 分析機器を用いた検討	38
(2) バッチ熱処理炉を用いた検討	39
(3) 小型連続炉を用いた検討	40
(4) まとめ	42
3) 再生CFの強度・品質評価	43
(1) ストランド試験	43
(2) モデルサンプルの単繊維引張試験	44
(3) CFRPから回収した再生CF(1次処理品)の単繊維強度測定	45
3.1.3 共用パイロット炉での実証結果	46
1) PVパネル処理	46
2) 廃CFRPの熱分解	46
3) UTT使用量・ヒートロス測定	46
4) CFRPおよびPVパネルのリサイクル率	47
3.2 CF再生材の新たな用途調査	48

3.2.1	海外のCFリサイクル事業者の動向	48
3.2.2	用途の洗い出し	48
1)	既存CF用途調査	48
2)	新規CF用途調査	49
3)	CF加工メーカー調査	49
3.2.3	優位性（仮説）の検討	52
3.2.4	事業者ヒアリング	52
1)	CFの廃棄状況（入口）	53
2)	CF再生材の採用可能性（出口）	53
3)	CF再生材の利用形態（出口）	56
4)	価格（出口）	57
5)	量（出口）	57
3.2.5	まとめ	57
3.3	PVパネルリサイクルに関する調査	59
3.3.1	九州山口地区のパネル収集量の把握	59
3.3.2	リユース評価方法調査	60
4	環境改善効果の評価	61
4.1	目的	61
4.2	評価前提	61
4.2.1	ベースケースのシステム境界	61
4.2.2	本事業の評価のシステム境界	62
4.3	評価方法	63
4.4	評価内容	64
4.4.1	国内廃材排出予想	64
1)	国内CF廃材	64
2)	国内太陽電池（PV）廃パネル	64
4.4.2	当社廃材処理計画	65
1)	CFリサイクル	65
2)	PVリサイクル	65
4.4.3	環境改善効果の考え方	67
1)	CFリサイクル	67
2)	PVリサイクル	67
4.4.4	当社対策について	68
1)	CF・PVリサイクルの共用化による事業の早期実現について	68
2)	廃熱利用プロセスについて	68
3)	プラント発停時に発生するロスについて	70

4)	リサイクル対象物の輸送方法について	71
4.4.5	LCI原単位	72
4.4.6	データソース	72
4.4.7	LCA評価結果	73
1)	当社での事業化効果	73
2)	循環社会への貢献度	74
3)	低炭素製品の一層の普及について	75
5	事業可能性評価	77
5.1	コストおよび投資回収期間に関する考察	77
5.1.1	目的	77
5.1.2	評価方法	77
5.1.3	評価結果	77
5.1.4	結論	79
5.2	CFR・PVRの原料および需要に関する考察	79
6	本事業のまとめ	81
7	今後の見通し	82

要約

1. 目的

本事業の目的は、炭素繊維（以下、CF）及び太陽電池パネル（以下、PVパネル）のリサイクルを持続可能な事業として早期に実現することで、天然資源等の代替及び埋立処分量の削減を進め、エネルギー起源CO2の削減及び埋立処分場の延命に寄与することである。上記目的のため、本事業では、廃CF・廃PVパネルの両方を処理可能なリサイクル設備の開発に向けた実証を行うとともに、再生CFの新たな用途を開発することで、CFおよびPVパネルの持続可能なリサイクルスキームの早期実現を目指す。（図S-1参照）

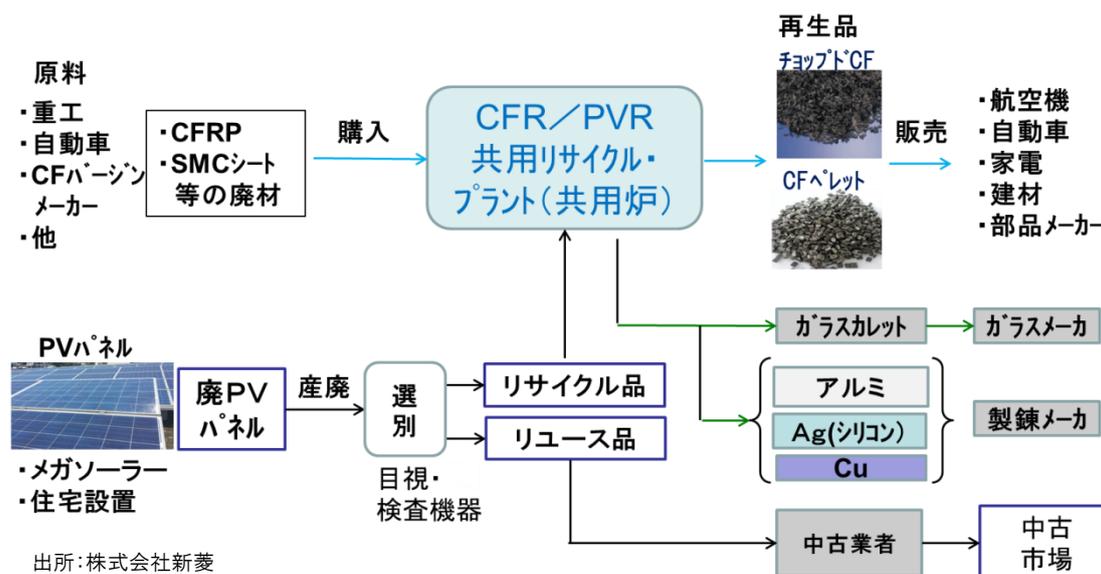


図 S-1. 共用リサイクルプラントによるCF/PVリサイクルスキーム

2. 実証事業の概要

本事業では、CF及びPVパネルの持続可能なリサイクルスキームの早期実現の為に、8つの項目を設定し実施した。以下にその実施概要を記載する。

2.1 共用パイロットの炉建設・実証実験

廃CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）と廃PVパネル両方を処理可能なリサイクル共用設備の開発を目的とした。

2.1.1 共用パイロット炉の設計コンセプト

- ・加熱方式：伝熱効率が高く、樹脂のクラッキング性能が高い過熱水蒸気を採用した。
- ・炉入出口シール方式：薄肉なPVパネル廃材～バルキーなCFRP廃材処理を可能にするために、炉入出口高さを稼げる特殊なシール構造と窒素ガス吹き込み方式を採用した。
- ・搬送方式：熱風の通気性が良く、伝熱性能がよいメッシュベルトタイプを採用した。
- ・廃熱回収法：本事業のパイロット炉では燃焼する樹脂が微量であるため、廃熱利用に

よるサーマルリサイクル方式は採用せず、通常の電気ヒーター方式とした。

2.1.2 共用炉のパイロット炉仕様

共用パイロット炉の構成を図 S-2 に模式的に示す。

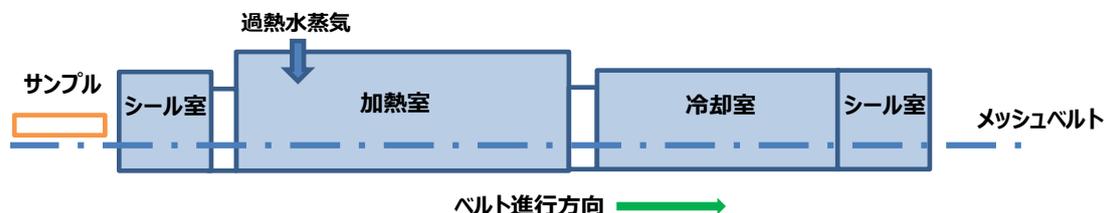


図 S-2. 共用パイロット炉の模式図

炉内温度は最高 700℃まで昇温可能とした。炉内雰囲気は常用過熱水蒸気雰囲気であるが、窒素雰囲気への切り替え可能とした。シールは既述の特殊なシール構造と窒素ガス吹き込み方式とし、更には炉入出口端に上下動可能なシャッターを設置し、被処理物の嵩に合わせて調整できるようにした。搬送はメッシュベルト方式とし、搬送速度は 1~7m/h r まで可変とした。当該パイロット炉の能力は、廃CFRP処理ベースで約 200 t /y となるよう、炉長・炉幅を調整した。

2.2 共用パイロット炉での実証試験結果

2.2.1 廃PVパネル処理

過熱水蒸気雰囲気での加熱試験を行った。シミュレーションでは 20%の昇温速度アップと予想していた。昇温部の電気ヒーターで調整可能な構造としており、ヒートショックが起きない温度プロファイルで炉内温度を設定した。この状態で 15 枚の処理実験を行い、ガラスは 15 枚共割れずに処理出来る事を実証出来た。

2.2.2 廃CFRPの熱分解処理

小型連続炉試験結果から 600℃-30 分で処理可能である事を基に、温度-時間を設定し、パイロット炉で実験した結果、問題なくCFRPのマトリックス樹脂を熱分解除去できることを確認した。雰囲気は過熱水蒸気と窒素の両方で行った。樹脂残渣分析の結果も、平均 13wt% (CV3%) と従来を同等の処理が可能である事を実証出来た。またCF強度測定の結果もバッチ炉の測定結果と同程度であることを確認した。以上より設計どおりの処理が可能である事を確認した。

2.2.3 UTT使用量・ヒートロス測定

共用パイロット炉でのスタートアップ時及び連続運転時のUTT使用量を実測した。スタートアップ時の電力使用量は時間当たり約 88kW、LPG量は約 3.3 m³/hr、用水量は 0.02 m³/hr であった。連続処理へ移行可能な所要時間は 3 時間。連続運転時の電力使用量は時間当たり約 60kW、LPG量は約 2.4 m³/hr、用水量は 0.02 m³/h であった。またヒートロス量については、設計時の炉体表面温度は 55℃ (234kcal/m²・hr) としていたが、実測でも

炉体 8 点の表面温度が平均 53~54℃であり設計以上のヒートロス量はなかった。

2.3 小型炉熱処理検討

廃CFRPの熱処理条件検討および再生CFの品質確認を目的として、バッチ炉および小型連続炉を用いた検討を実施した。CFの再生処理に必要な、処理温度、処理時間、品質（繊維強度、樹脂残渣量）の検討を実施した。その結果を基に4種類の原料種であるSMC (Sheet Molding Compounds)シート、CFRP、プリプレグ、PVパネルについて、熱分解処理条件を決定した。CF廃材については、何れも1次処理は過熱水蒸気雰囲気で600℃×30分、2次処理は空气中で500℃×30分を標準条件とした。またPVパネル廃材については、1次処理は過熱水蒸気雰囲気で500℃×10分、2次処理は空气中で500℃×10分を標準条件とした。

2.4 再生CF原料調査

質・量ともに優れ、継続的に入手可能なCFRP廃材の確保を目的として、CF製造メーカーやCFを使用している航空機、自動車、加工メーカー等19社を訪問し、排出形態および排出量を調査した。また端材等のサンプルを入手し品質分析を実施した。これらの結果から、原料として使用可能なものを表S-3に示す。

表 S-3. 再生CF原料調査結果

業種	種類	年間廃棄量
自動車	端材等	約 100t
重工	端材等	約 1,000t
化学	中間材	数百 t
加工メーカー	—	数~10 数 t

尚、重工、自動車、化学（新品CFメーカー）から、原料を入手の見込みを得た。またスポーツ用品、水素タンク、加工メーカー等は、発生量も少なく、品質面での課題（CF以外の異物の混入が避けられない）があり、原料としては検討が必要なことが分かった。

2.5 再生CF需要調査

既存CFおよび他資源代替に向けた代替可能な用途調査とヒアリングによる検証を目的とした。再生CF需要調査については、再生CFの採用可能性をヒアリングするための企業を選定し、再生CF原料と同様に調査を実施した。その中から使用可能性がありそうな、自動車、家電、OA機器、化学メーカー、建材メーカーへサンプルワークを実施した。そ

の結果、化学メーカーで年間 50～150t、自動車、加工メーカー等を中心に、年間数 10t～100t 程度の需要が見込めることが判明した。長期的には、自動車業界のクローズドループが形成されると想定する。現時点の再生CFの需要量を推定した結果を図 S-3 に示す。

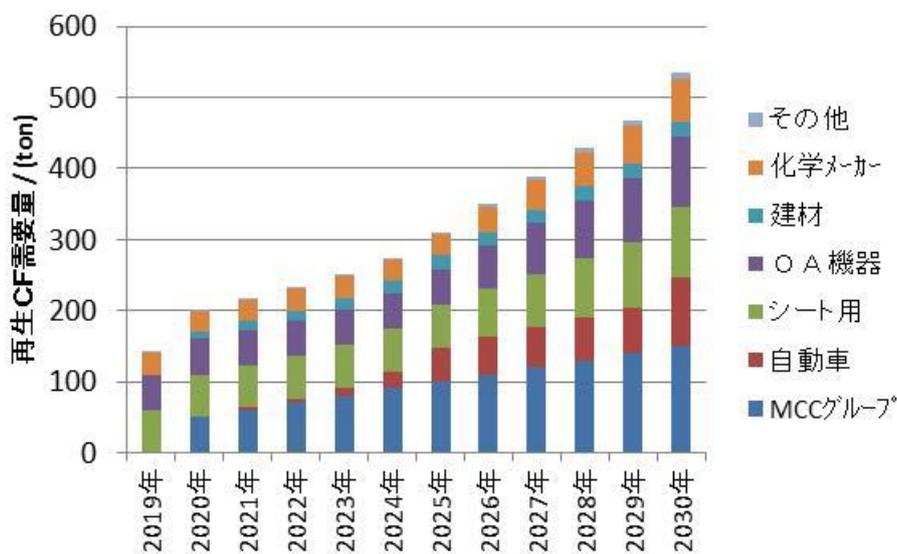


図 S-3. 再生CF 需要量見込み

(出所：株式会社新菱)

2.6 廃PVパネルリサイクルに関する調査

廃PVパネルリサイクルのビジネスモデル構築を目的として、廃棄パネル収集量の把握とPVパネルリユースに関する調査を行った。

2.6.1 九州山口地区のパネル収集量の把握

PVパネル広域収集事業に於いて、回収BOXを九州山口地域の19箇所に設置し、廃PVパネルを回収した結果、2016年12月～2017年12月の調査期間で、計1,221枚、月平均約100枚の結果であった。これ以外に、大口の5,200枚、3,950枚、4,000枚等の問い合わせがあり、これらを合わせると本調査期間中の廃PVパネルの発生枚数は、約1万5千枚であった。

今回の調査結果1万5千枚は、九州経済産業局が調査した九州・山口地域の2017年PV廃棄量見込みの約5万枚の30%程度に相当するが、当社シェアを九州・山口地域の廃棄見込みの20%と置き、この後の事業性評価を実施した。

2.6.2 リユース評価方法調査

PVパネルのリユース可否は、回収したパネルの外観を目視で確認し、パネルの変形やガラスの割れ等無いものに関して以下の手順で検査を行うことにした。

- ・手順1：パネルの洗浄（表面の汚れを落とす）
- ・手順2：絶縁抵抗測定（漏電検査）

- ・手順3：I V検査、E L検査（パネル発電と割れの検査）
上記検査を実施し、判定基準内のものをリユース品として再利用する。

3 LCA評価

3.1 環境効果算定手順

本事業の環境効果の算定を次の手順で行った。

- ・手順1：国内でのC F及びP Vの排出量を想定した。
- ・手順2：当社での廃材処理計画（事業規模）を想定した。C Fリサイクルの入口は、排出先とのコンタクト、出口は用途先企業でサンプル評価を通じたコンタクトでユーザー毎の使用計画を想定した。
P Vリサイクルの入口は、2017年にF A I S /九州経済調査協会とで実施した九州山口での廃パネル排出予想と、環境省支援で実施した昨年度収集実証でシェアを想定した。
- ・手順3：上項の収集（リサイクル）量でL C A評価を進める事になるが再生エネルギー原単位は、当社の特徴である廃熱利用システム（2010年N E D O事業P V広域汎用リサイクルシステム）を用いた。
- ・手順4：前述の条件にて新菱で事業化した場合の環境効果を算定した。本事業はC F・P Vを共用化する事により稼働率を上げて事業の早期実現を目指すものである。単独実施の場合の事業化時期と共用化による事業化時期を当社基準で判断し、早期化することによる廃材処理量増加での環境効果も算定した。C FリサイクルはバージンC Fとの製造エネルギー差、P Vは天然原料からリサイクル品の戻し位置までの製造エネルギー差で評価した。
- ・手順5：本事業を全国展開した場合の循環型社会への貢献度を算定した。

3.2 国内でのC F及びP Vパネルの排出予想

図 S-6 に当社が推測した国内C F廃材排出量予測を、図 S-7 に国内廃P Vパネル排出量予測を示す。

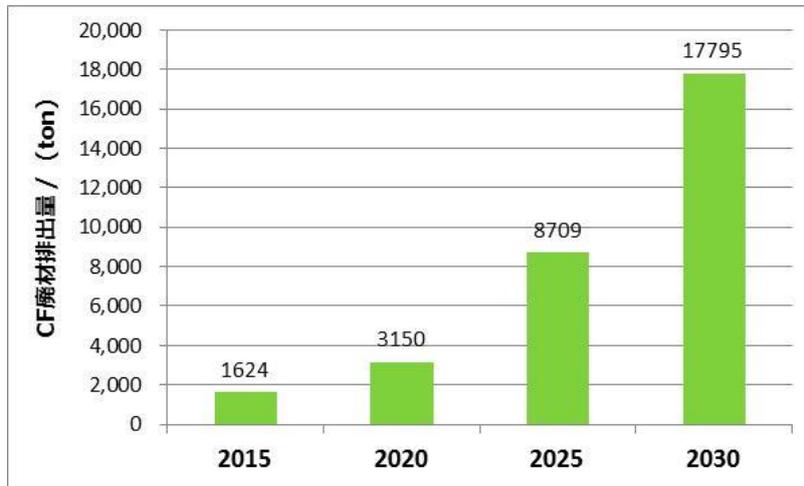


図 S-6. 国内C F 廃材排出量予測
(出典：株式会社新菱)

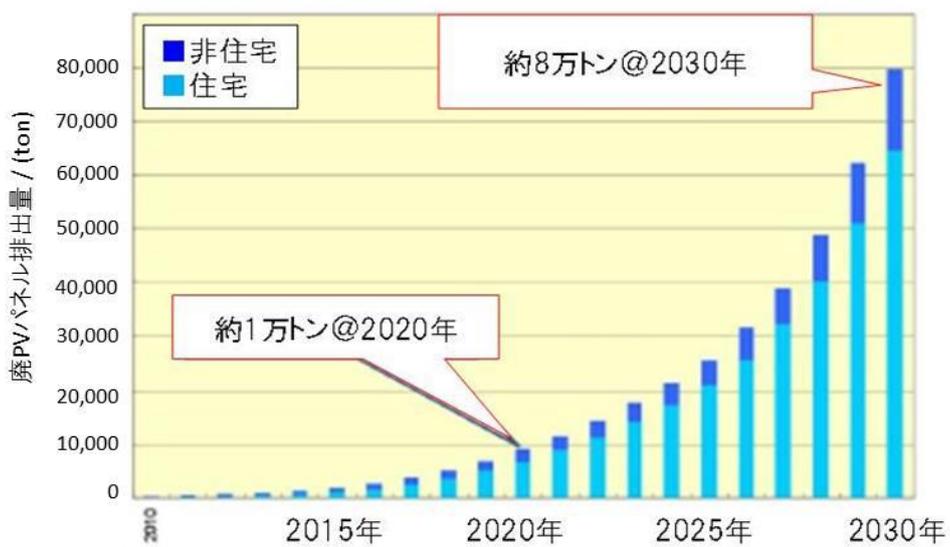


図 S-7. 国内廃P Vパネル排出量予測
(出典：NEDO/みずほ総研報告書)

3.3 当社の廃材処理計画

上記手順2に記載した当社の廃材処理計画を図 S-8 および図 S-9 に示す。廃P Vパネルは図 S-9 の 20%のシェアで処理するとした。

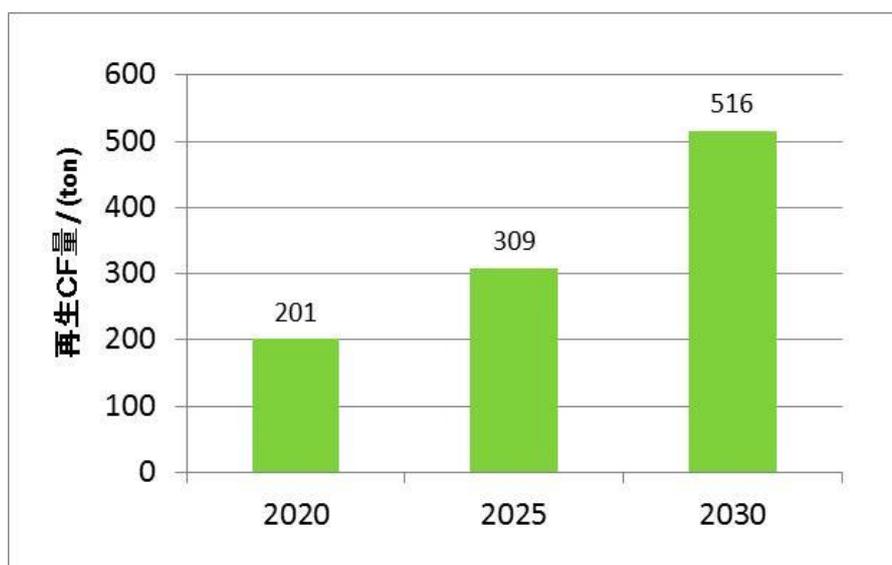


図 S-8. 当社のCFリサイクル量予測

(出典：株式会社新菱)

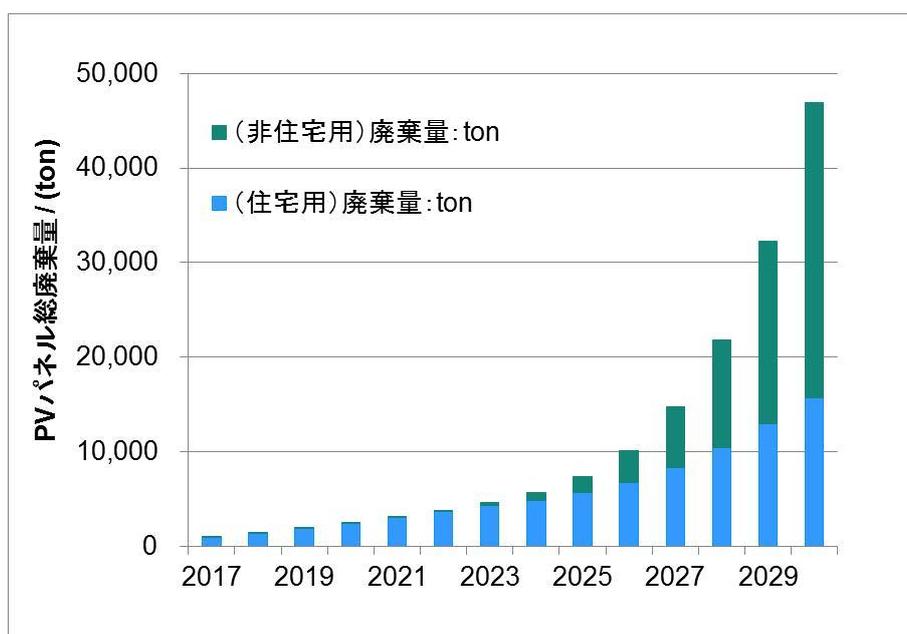


図 S-9. 九州・山口地域のPV廃棄量見込み (t)

(出典：2017年 九州経済産業局/FAIS/九州経済調査協会にて調査)

3.4 LCA評価結果

当社が実施する、CFリサイクルとPVリサイクルの事業早期化効果と年次的環境効果を表 S-4、図 S-10 に示す。

表 S-4. 当社での環境効果

CO2削減効果（当社想定事業規模ベース）	CFR・PVR共用効果（ton）
事業早期化による効果	26,344

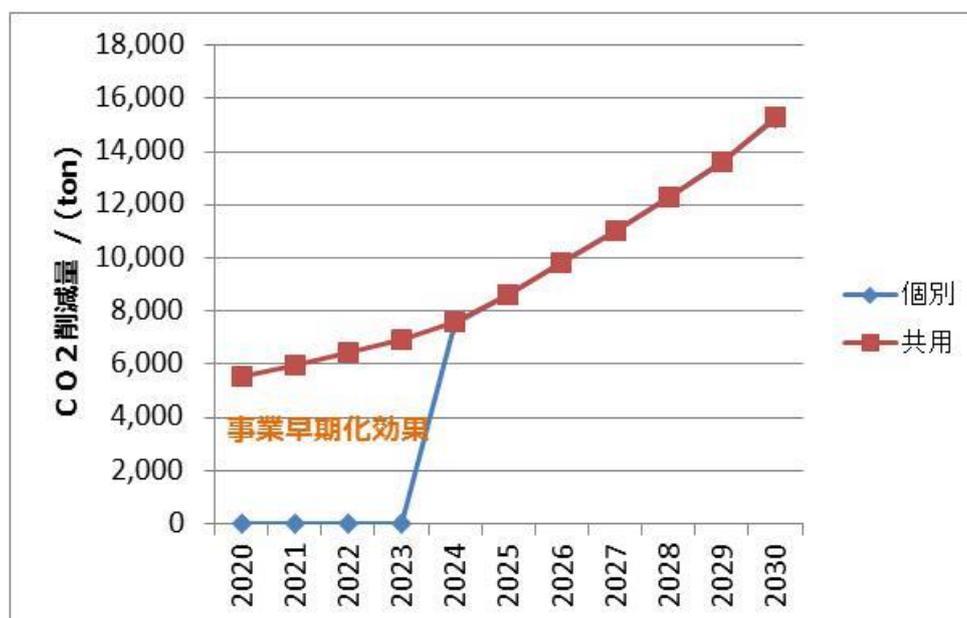


図 S-10. 当社での CO2 削減効果

結論としては上記のとおり 4 年分の早期化効果が CO2 削減量で 26,344t となった。処理量が経年的に増加し 2030 年では 16,000t/年規模になると見積もった。これは現在当社のリサイクル事業による CO2 削減量 15 万 t/年からしても効果は大きい。尚、CO2 削減量 26,344t の内数として、共用化によるプラント発停回数削減による CO2 削減量 8t が含まれている。またこの 4 年分の CO2 削減量の 99%は CFR によるものであり、PVR は処理量が少ないため 1%、321t に止まった。

参考までに、共用化により設備が 1 系列で済む効果として、プラント建設軽減による LCA 効果（資機材削減、工事軽減、工場建屋面積縮小分）と設備稼働率アップによるプラント発停時のエネルギーロスを評価した結果、設備資機材・建設工事削減効果：15t、工場建屋縮小効果：13t となり、合計で 28t の CO2 削減効果となった。

3.5 循環社会への貢献度

当社が計画している CF・PV リサイクルが全国展開した場合の環境効果を図 S-11～13 に示す。

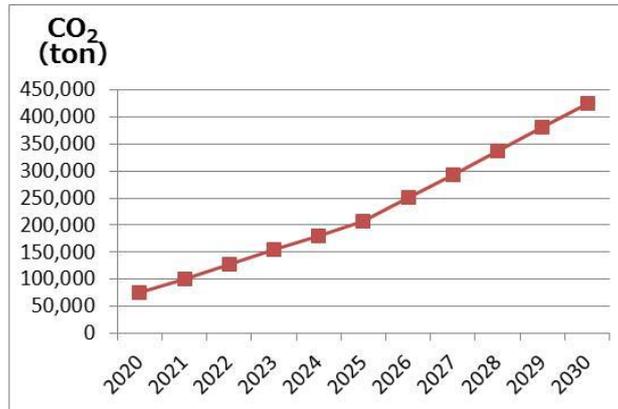


図 S-11. 全国展開した場合の CO₂ 削減量 (t)

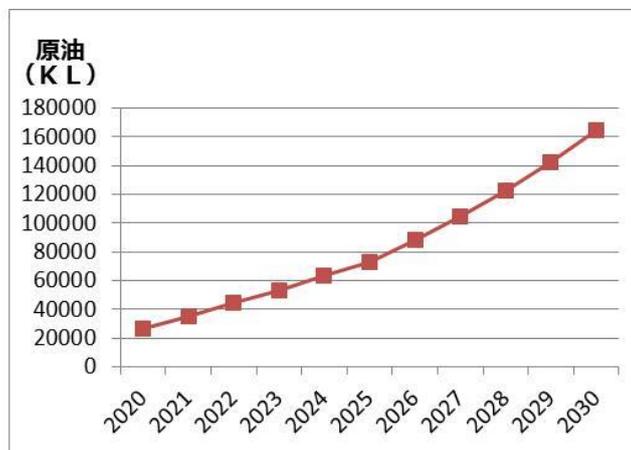


図 S-12. 全国展開した場合の原油削減量 (KL)

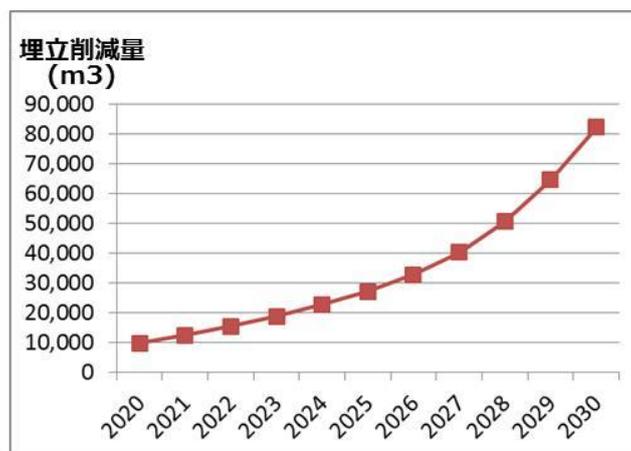


図 S-13 全国展開した場合の埋立削減量 (m³)

3.6 低炭素製品の一層の普及について

今後大きな環境問題となる事が予想されるCF・PVリサイクルが同時に解決する糸口となるよう事業化に向けて進めていきたい。これにより下記の観点で低炭素製品の普及が見込まれる。

- a. エネルギー原単位の低いCF再生材の普及
- b. CF再生材の適用拡大による自動車等の燃費の改善
- c. PVパネル再生材の普及に伴う低炭素ガラスの普及
- d. 再生可能エネルギーであるPV普及の推進

4 事業性評価

4.1 コストおよび投資回収期間に関する考察

本格生産スケールでのコストおよび投資回収期間の観点からCF/PVリサイクル事業性評価を実施した。

其々個別に事業化を目指せば現時点ではいずれも原料廃材が集まらず事業化時期は遅れてしまい廃棄期間が長引く事となる。よって評価としては 個別に事業化を進めた場合と共用化の場合の事業性を評価し、事業を開始できる時期を見積もった。

図S-14に、CFリサイクル(CFR)単独の場合のCF再生コストを100とした時の共用炉ベースのCF再生コストを比較して示した。図が示す通り設備共用化により再生コストが約3割のコスト削減効果があると見積もった。同様にPVリサイクル(PVR)単独の場合と共用炉ベースのCF再生コストを図S-15に示した。PVRの場合は、設備共用化により約6割の再生コスト削減効果があると見積もった。これらの効果発現は共用化による投資額の削減、省人化、稼働率アップが主要因である。

次に投資回収期間を試算した結果、CFR単独では2024年以降、PVR単独では当面投資回収不能となったが、一方で共用炉ベースでは2020年以降であれば、当社基準で事業開始できる投資回収期間内となった。(図S-16参照)

以上より、CFR、PVR単独では、事業可能開始年は2024年以降となるが、共用炉では2020年から事業開始可能と結論付けた。

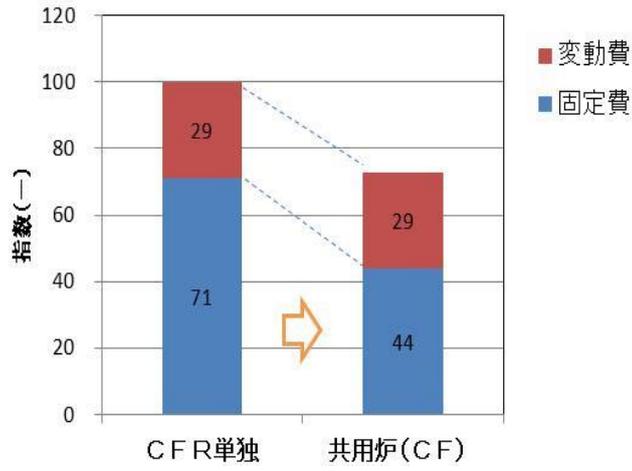


図 S-14. CFRの再生コスト比較

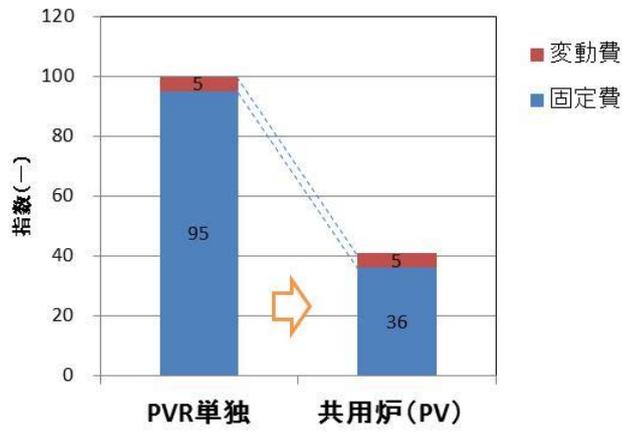


図 S-15. PVRの再生コスト比較

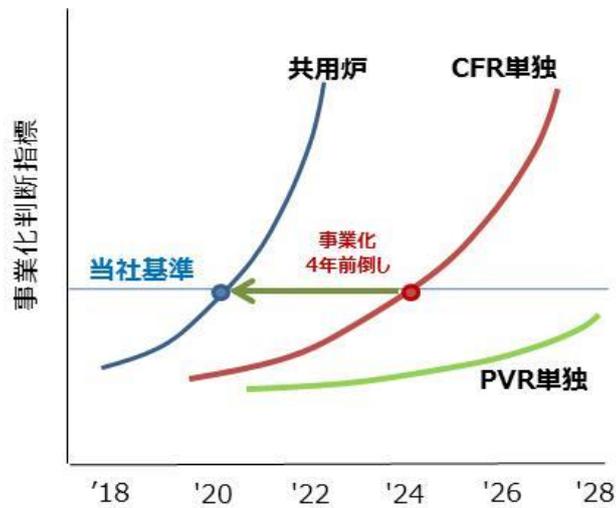


図 S-16. 事業化判断イメージ

4.2 CFR・PVRの原料および需要に関する考察

CFRの原料確保については、現状、量・質の観点から、グループ会社におけるCF製造工程からの工程不良品、および、重工メーカーの生産工程における工程不良品がターゲットとなる。本事業で検討している共用炉のCF処理量を考慮すると、年間1,000tの廃棄量は十分な数値である。長期的には、業界内の規制が厳しく、自社で出る端材・工程不良品を自社でリサイクルしたい（クローズドループを形成したい）との思惑が強い自動車メーカーや自動車部品が対象に入る。さらに長期になると廃車や廃航空機も入口の対象となる。

CFRの需要については、化学メーカーで年間50～100t、自動車、加工メーカー等を中心に、数10t～100t程度他の需要が見込める。長期的には、自動車業界のクローズドループが形成されると想定する。

PVRの原料については、当面は初期不良品や災害等による破損品が処理対象となる為、本事業で検討している共用炉で処理可能な量である。また廃PVパネルは産業廃棄物として引取り処理するため、現時点で想定される産廃処理費用（現状の実態処理価格）が通用すれば十分事業可能となる。

一方でPVRの再生品の需要については、当面の用途としては建材用ガラスファイバー原料であり、質・量ともに可能性はあるが、将来的にはガラスカレットとして板ガラスメーカーに戻ることが求められているが、現時点では板ガラスメーカーが要求するリサイクル量を供給することは困難な状況である。

5 本事業のまとめ

本事業で取り組んだ各課題に対する達成状況まとめを表S-5に示す。

表S-5. 本事業の達成状況まとめ

	項目	課題	達成状況
①	共用パイロット炉建設・実証実験	・設備材質、運転法、大規模設備建設費 ・ランニングコストの検討	・大規模設備建設費概算完了。運転法完了。 ・ランニングコスト推算完了
②	小型炉熱処理検討	・処理温度、処理時間、品質（繊維強度、樹脂残渣量）の確認	・熱分解処理温度、時間を確定 ・再生炭素繊維の機械特性、樹脂残渣量およびそのコンパウンド品の機械特性確認済み
③	CF入口（原料）調査	・グループ会社から排出される廃材の調査 ・グループ会社の大手顧客から排出される廃材の調査 ・市場から排出される素性が明確な廃材の調査	・親会社の三菱ケミカルからSMC生シート入手 ・グループの大手顧客からの工程端材入手 ・市場から排出される廃CFRPを購入開始
④	CF出口（製品）市場調査	・用途の洗い出し ・優位性（仮説）の検討 ・事業者ヒアリングによる情報収集	・自動車、航空機、家電、建材、水素タンク、スポーツ用品、部材加工メーカー等と用途開発を実施中 ・バージン繊維の特長を維持した再生CFを顧客適及性のある価格で供給可能 ・顧客候補20数社を訪問し、直近および将来の出口情報を収集
⑤	PVパネルリサイクル検討	・パネルの「割れ」を防ぐ温度条件の確立 ・不純物残渣量の低減 ・九州山口廃パネル収集量の把握 ・リユースパネル評価方法調査	・温度条件のシミュレーション完了 ・九州山口地区の廃PVパネルの収集実績データ把握完了 ・リユース業者からリユースパネル評価方法に関する情報収集完了
⑥	LCA評価	・CF/PVリサイクル設備共用化によるLCA低減効果確認	・共用化によるLCA削減効果確認 ・早期事業化による累積CO2削減量は26,370トンと試算
⑦	コスト評価	・CF/PV単独リサイクルコスト把握 ・共用炉でのリサイクルコスト把握	・CF/PV単独リサイクルコスト試算完了 ・共用炉でのリサイクルコスト試算完了
⑧	事業性評価	・事業開始可能年の推測 ・事業採算性把握	・共用炉の場合は2020年から事業開始可能。その時の投下資本回収期間は4年 ・CF、PVリサイクル単独の場合は、2025年以降から事業開始となる。

6 今後の見通し

事業化に向けた今後のスケジュールを図 S-16 に示す。

今後の課題	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
事業化検討 (本格炉建設)	共用パイロット炉によるCFR中量サンプルワークと営業販売 投資判断	本格炉建設	本格炉による営業生産	
CFR大型案件対応	開発	拡大検討～量産検討		上市
PVパネル・リユース事業	リユースPVパ [®] ル販売先	契約後、PVパ [®] ル・リユース事業開始		
共用パイロット炉で PVパネル・リサイクル 事業検討	共用パイロット炉の 産廃処理設備申請	認可 共用パイロット炉での PVパ [®] ル・リサイクル		

図 S-16. 今後のスケジュール

CFリサイクルおよびPVリサイクルの今後の課題は下記を想定している。

CF再生材については、品質保証の観点から、使用したCF素性や異物混入の有無の分かった特定ルートからの再生CF原料を使用するのが好ましいが、将来、市場に大量に出回るCFRPのリサイクル処理のためには、分別回収方法の構築や異物混入検査・除去技術の開発が望まれる。特に今後自動車用途で進行と思われるマルチマテリアル化に向け、CF回収だけではなく、併用されたスチール、アルミ等の他材料の回収も同時に可能なリサイクルの手法の開発が望まれる。加えて再生CF利用促進のためには、早期の再生CF標準規格化が望まれる。

PVパネルリサイクルについては、リユース事業が先行するが、高品質のPVパネル再生材を、従来のガラスよりも製造時のCO₂発生量が少ないガラスカレットとして利用するビジネスモデルを早期に構築することで、PV普及の阻害要因の一つとなっているリサイクル可否の問題を解消でき、PV普及に拍車が掛かり、環境負荷低減に一層貢献出来るものと思量する。

以上

Summary

1. Purpose

The purpose of this project is to realize the recycling of carbon fiber (CF) and photovoltaic panel (PV panel) as a sustainable business early. Thereby, we promote substitute of natural resources and reduction of landfill disposal amount. And we contribute to the prolongation of the landfill site and the reduction of the energy origin carbon dioxide. To achieve the purpose mentioned above, we aim for early realization of sustainable recycling scheme of CF and PV panel wastes—by development of the recycling facilities which can handle both CF wastes and PB panel wastes and by new application development of recycled CF.

Fig. S-1 shows the sustainable recycling scheme that we aim for.

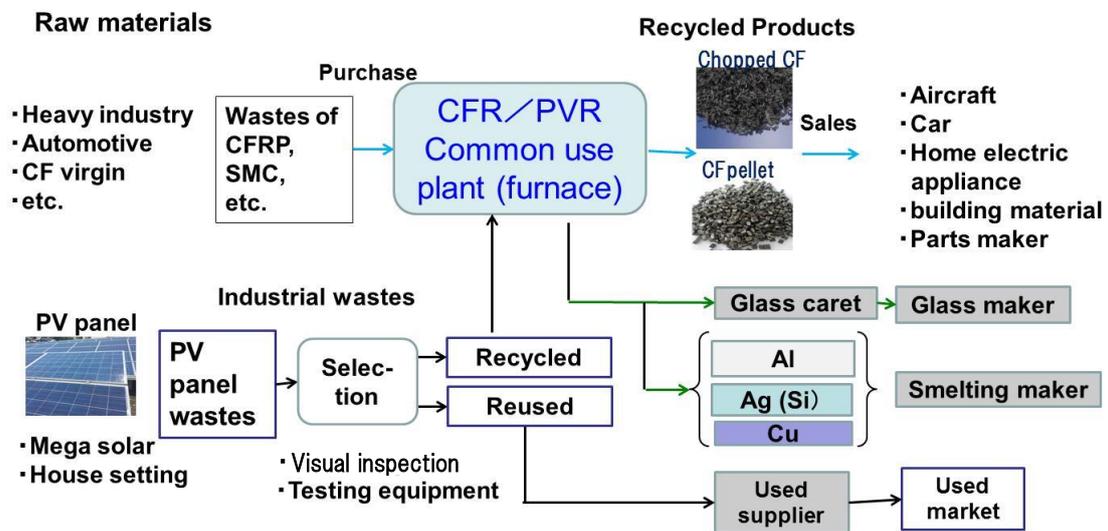


Fig.S-1. The sustainable recycling scheme of carbon fiber & PV panel wastes using the common facilities

2. Outlines of our project

We set 8 subjects to realize the recycling of CF and PV panel as a sustainable business early. The outlines of our project are mentioned below.

2.1 The common pilot plant construction and demonstration experiments

The purpose in this section is to construct the common plant to recycle both CF wastes and PV panel wastes.

2.1.1 The concept of common pilot plant

- i) Heating gas: We selected superheated steam (SHS). SHS-has high heat transfer efficiency, and high cracking ability for resin.
- ii) Sealing method of furnace entrance/exit: We selected a special sealing structure and nitrogen gas blow. This system enables the height of entrance/exit higher for disposal of bulky CFRP waste.

- iii) Transportation method: We chose mesh belt type which has good ventilation of hot gas and good heat transfer.
- iv) Thermal recycling method: We did not adopt thermal recycling method because of small amount of burning resin (on the other hand, we have successful results of thermal recycling at PV panel recycling pilot plant for 7 years).

2.1.2 Specifications of common pilot plant

The constitution of the common use pilot plant is shown in fig. S-2 schematically.

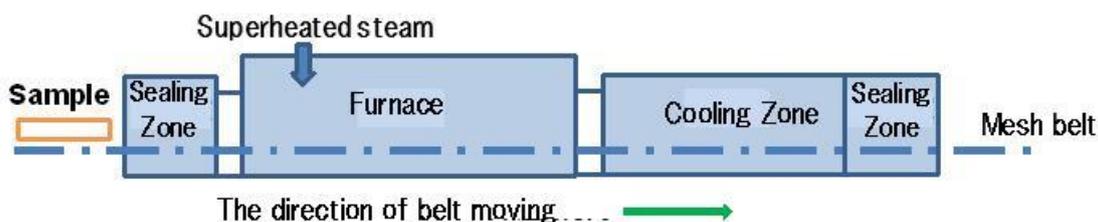


Fig.S-2. Common use pilot plant

The maximum temperature of heating furnace is 700 degree C. An atmosphere in the furnace is ordinarily superheated steam, but can be switched to nitrogen. The sealing is by special sealing structure and nitrogen gas as described above, and vertically movable shutter enables us to adjust-sample size. The transportation method is a mesh belt type, and the transportation speed is adjustable from 1 to 7m/hr. The capacity of the common pilot plant is around 200 metric ton per year on the basis of processing CFRP wastes. In the case of PV panel recycling, the capacity is around 2,150 metric ton per year.

2.2 Results of demonstration experiments using the common pilot plant

2.2.1 PV panel processing

We examined PV panel wastes recycling by the heating of the superheated steam. In the simulation, the surface temperature of PV panel glass was expected with 20% up of temperature rise rate under superheated steam atmosphere. The temperature inside the furnace was set with the temperature profile that heat shock does not occur, because the structure is made possible by the electric heater of the temperature rising part. In this state, we made an experiment with 15 sheets. We were able to prove that glass can be processed without breaking 15 pieces.

2.2.2 Thermal decomposition treatment of waste CFRP

In the pilot furnace, the temperature-time was set based on the fact that it can be processed at 600 degree C-30minutes in the compact continuous furnace test superheated steam and nitrogen atmosphere heating were performed. It was confirmed that CFRP can be processed at a predetermined temperature-time. As a result of the resin residue analysis, it was proved that

the same processing as the conventional one is possible with an average of 13 wt% (CV3%). Moreover, it was confirmed that the result of the CF intensity measurement was also the same as the measurement result of the batch furnace. It was confirmed from the above that productivity is as designed.

2.2.3 Measurement of utility consumption and heat loss

Utility consumption and heat loss of common pilot plant were measured at start-up and at the stable operation. The results were as followed. The electric consumption was about 88 kwh, the LPG consumption about 3.3 m³/h, and the water consumption was 0.02 m³/h at the start-up. The time required to shift to continuous processing is 3 hours. On the other hand, the electric consumption was about 60 kwh, the LPG consumption was about 2.4 m³/h, and the water consumption was 0.02 m³/h at the stable operation. As the quantity of heat loss, although furnace body surface temperature was around 55 degree C (234kcal/m², hr) at the design. the surface temperature of eight points of furnace body averaged 53~54 degree C and the heat loss amount exceeding the design was not found even in actual measurement.

2.2.4 Examination using a batch furnace and small consecutive furnaces

In order to investigate the heat treatment condition of waste CFRP and check the quality of recycled CF, we conducted a study using a batch furnace and a small continuous furnace. The processing temperature, the processing time and the quality (fiber strength, residual resin amount) required for CF regeneration treatment was studied. Based on the results, the thermal decomposition conditions were determined for four types of raw materials (SMC sheet, CFRP, prepreg, PV panel). Regarding the CF waste material, the primary condition was set to 600 degree C × 30 minutes in the superheated steam atmosphere and the secondary condition was 500 degree C × 30 minutes in the air as the standard condition. Regarding the PV panel waste, the primary condition was a condition of 500 degree C x 10 minutes in a superheated steam atmosphere and a standard condition of 500 degree C x 10 minutes in air for the second treatment.

2.3 The survey of CF wastes (raw materials for CF recycling)

For the purpose of securing CFRP waste materials that are both superior in quality and quantity and continuously available, we visited 19 manufacturers, including manufacturers of CF and CFs, automobiles, processing manufacturers, etc., investigated. In addition, samples such as end materials were obtained and quality analysis was carried out. From these results, those available as raw materials are shown in Table S-3. .

In addition, we got the prospect of obtaining raw materials from heavy industry, automobile, chemical (new CF manufacturer). In addition, sports goods, hydrogen tanks, processing makers,

etc. are generated in a small amount and there are problems in terms of quality (contamination of foreign substances other than CF cannot be avoided), which proved to be unsuitable as a raw material.

Table S-3. Survey of CF wastes (raw materials for CF recycling)

Industry Type	category	Amount of CF wastes per year
Automotive industry	Scrap materials	around 100 metric ton
Heavy industry	Scrap materials	around 1,000 metric ton
Chemical industry	Scrap intermediate products	several hundred metric ton
Processing maker	-	several ~ tens of metric ton

2.4 The survey of market for recycled CF products

A survey was aimed for a use investigation by hearing to replace virgin CF and other resources. For the exit, we selected a company to hear the possibility of adopting CF recycled materials and conducted a survey similarly to the entrance. Sample work was carried out to automotive companies, consumer electronics manufacturers, OA equipment manufacturers, chemical companies, building material manufacturers, which are likely to be used from among them. As a result of sample work, we confirmed that the demand can be expected from 50 to 150 tons per year in chemical manufacturers, and several 10 tons to 100 tons a year in automobile manufacturers or processing makers. We assume that the closed loop of the automotive industry is formed in the long term. The result of estimated exit quantity of recycled CF market is shown in Fig. S-3.

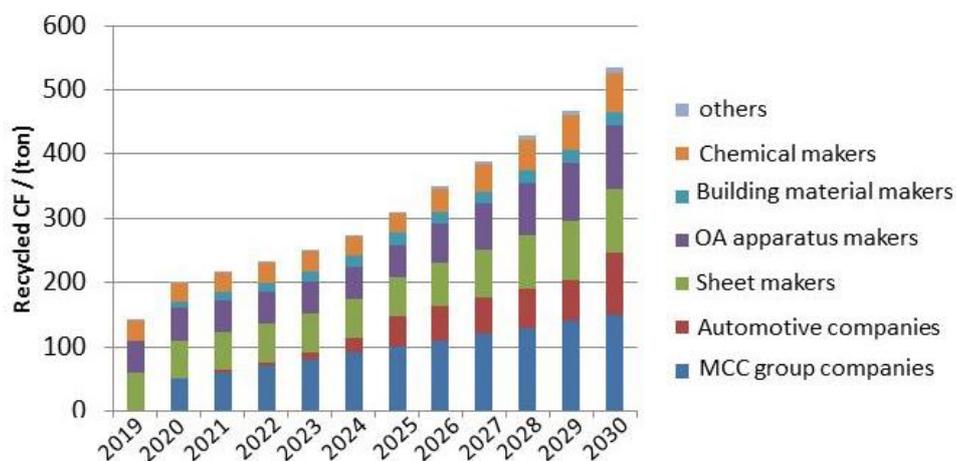


Fig.S-3. Demand of recycled CF

Source: Shinryo Corporation

2.5 The survey of PV panel wastes (raw materials for PV recycling) and PV panel reuse evaluation method

The survey was aimed for construction of the PV panel recycling business model and PV panel reuse evaluation method

2.5.1 The trend of the quantity of PV panel collection in Kyushu and Yamaguchi area

A box in 19 places of the Kyushu Yamaguchi area is now installed under PV panel wide collection business. In the investigation period from December/2016 to December/2017, the number of collected PV panel was approximately 100 sets a month on average with 1,221 sets in total. Besides this, there were inquiries such as 5,200 large, 3,950, 4,000, etc. together, and when these were combined, the number of waste PV panels generated during this investigation was about 15,000. According to the report by the Kyushu Bureau of Economy, the anticipated amount of 2017 PV waste in the Kyushu–Yamaguchi area was 50,000 sets of PV panel.

The 15,000 sets of PV panel was equivalent to around 30% of approximately 50,000 sets of the 2017 disposal possibility. In this feasibility study (F/S) of business, our share was assumed 20% of the disposal of Kyushu and Yamaguchi area possibility.

2.5.2 Investigation of evaluation method to evaluate PV panel reusability

Whether PV panels can be reused or not is checked by visual inspection of the appearance of the collected panels, and inspection is carried out according to the following procedure with respect to those without deformation of the panel or glass breakage.

- procedure 1: cleaning panel (removing surface dirt)
- procedure 2: measuring insulation resistance (leakage test)
- procedure 3: IV inspection, EL inspection

After the inspection mentioned above, we reuse the PV panel in criteria as a reuse product.

3 LCA evaluation

3.1 Environment effect evaluation procedure

The environmental effect of this operation was calculated in the next procedure.

- procedure 1: Estimating the domestic quantity of CF wastes and PV panel wastes
- procedure 2: Estimating the quantity of our company's plan to deal the wastes (business scale)

As for CF recycling, we collected information through user hearing. As for PV panel recycling, we referred to the report that was carried out by FAIS and Kyushu economy industry agency in 2017.

- procedure 3: Using the value of energy consumption rate that was reported by NEDO in 2010
- procedure 4: Calculating the environmental effect when our recycling business starts

Our operations improve a rate of operation by commoditizing CF and PV recycling and aim for

early realization of the business. Commercialization time in case of CF alone and commercialization time by common use of CF and PV were estimated by doing F/S. And we calculated the accumulative environmental effect by the wastes throughput increase by bringing forward a business start. Moreover, we estimated the environmental effect by calculating the difference of production energy between virgin CF and recycled CF. In the case of PV panel recycling, we also estimated the environmental effect by calculating the difference of production energy between natural resources and recycled glass.

·procedure 5: Calculating the environmental effect when we expand procedure 4 method nationwide.

3.2 Domestic discharge forecast of CF wastes and PV panel wastes

Fig. S-6 shows the trend of domestic discharge forecast of CF wastes. Fig.S-7 shows that of PV panel wastes.

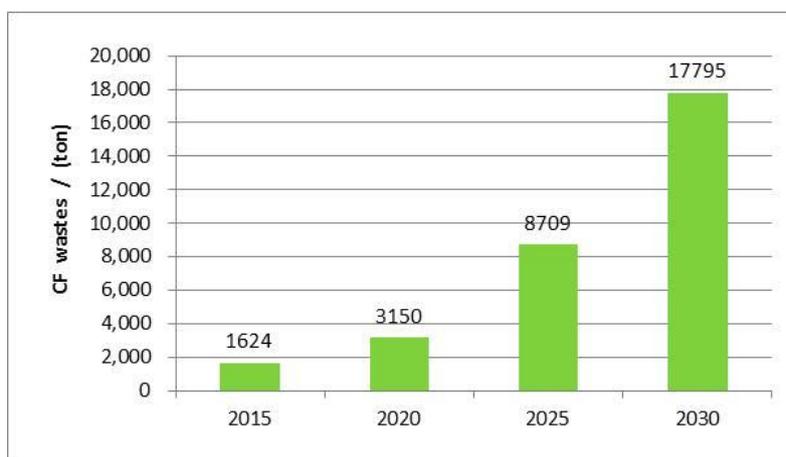


Fig.S-6. Domestic discharge forecast of CF wastes

Source: Shinryo Corporation

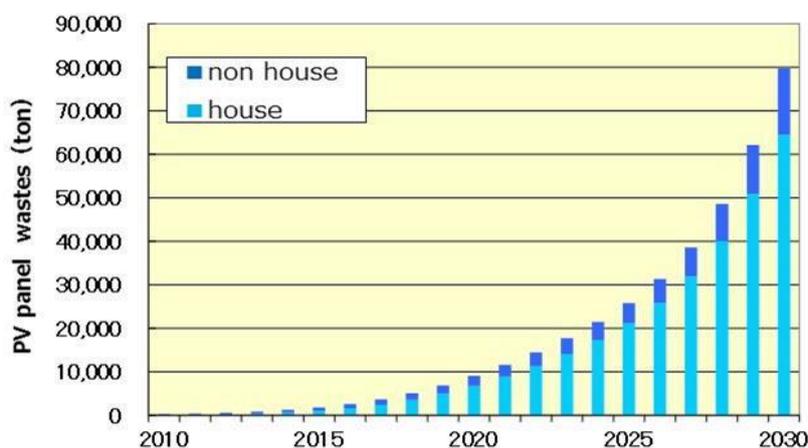


Fig.S-7. Domestic discharge forecast of PV panel wastes

Source: NEDO/Mizuho Research Institute report

3.3 Our company's wastes disposal plan

Fig.S-8 shows our company's CF wastes disposal plan. Figures on graph are the quantity of CF wastes that we calculated according to procedure 2 mentioned above. Fig.S-9 shows PV panel wastes disposal plan. The throughput of PV panel wastes assumed it 20% of quantity that shown in Fig.S-7

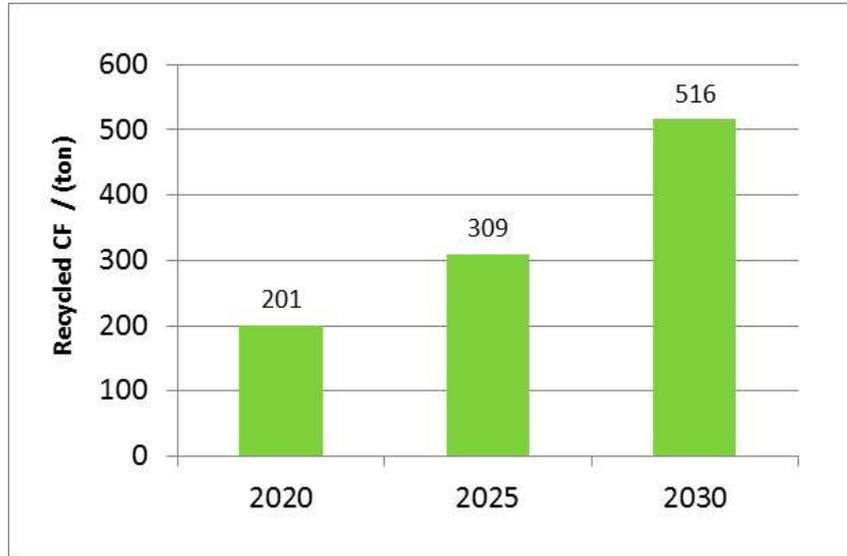


Fig.S-8. Our company's CF recycling quantity of plan

Source: Shinryo Corporation

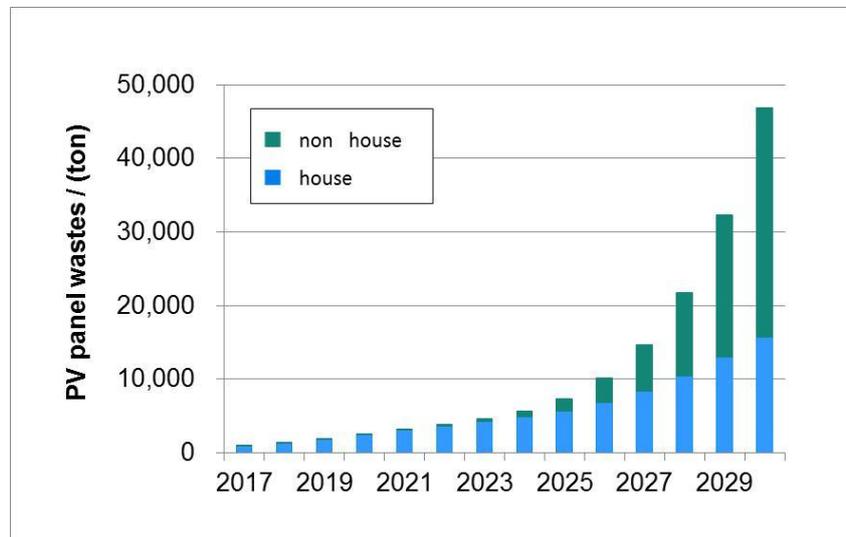


Fig.S-9. Amounts of PV panel wastes in Kyushu and Yamaguchi area

Source: NEDO/Mizuho Research Institute report

3.4 Results of LCA evaluation

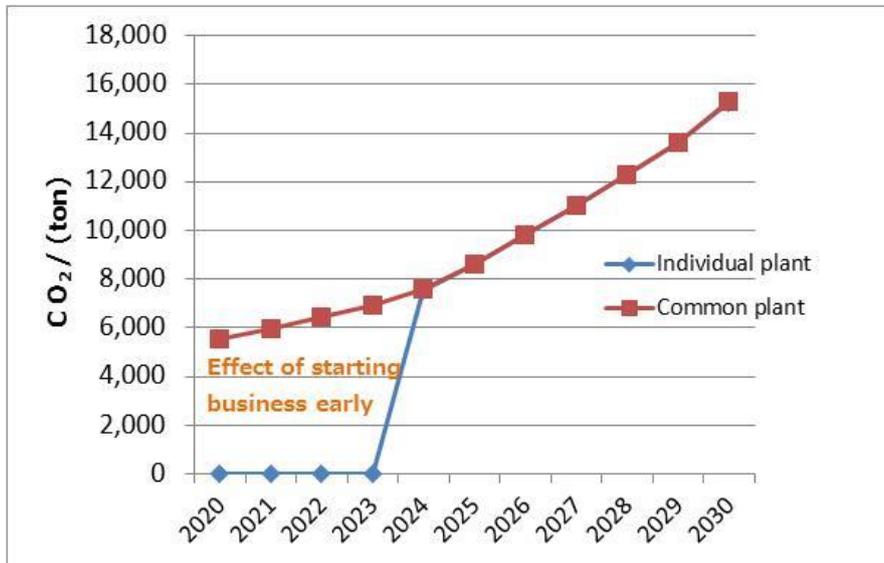
Table S-4 shows the environmental effect (CO2 reduction effect) when we start the business

of CF and PV panel recycling early. The table also shows the information about reduction of building plant, factory building down-sizing, rate of operation up by the change loss reduction and so on.

Fig.S-10 shows our environmental effect of the annual.

Table S-4. Our environmental effect

CO ₂ reduction effect (based on our business model)	Common recycling plant (ton)
Effect of starting business early	26,344



☒ S-10. Our CO2 reduction effect

For reference, one line of equipment by common use brings LCA effect (reduction of equipment and material, construction reduction, reduction in the area of the factory building) . As a result, the effect of reducing equipment and materials and construction work: 15 tons, the effect of shrinking factory buildings: 13 tons, totaling 28 tons.

3.5 Contribution degree to a material-cycle society

Fig.S-11~13 show environmental effects when we expanded CF and PV panel recycling nationwide.

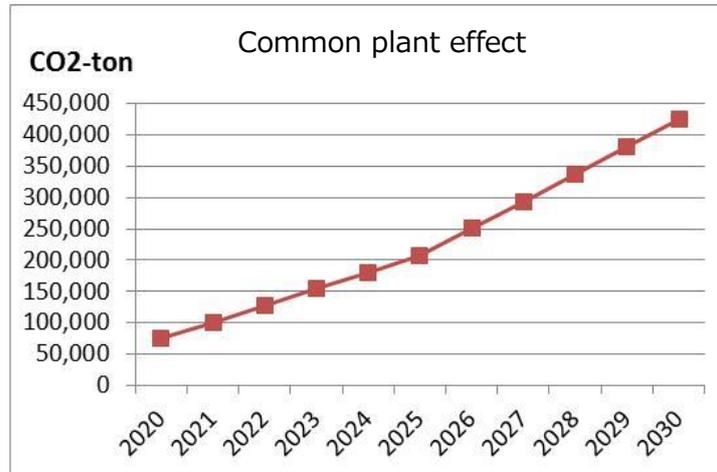


Fig.S-11. Quantity of CO2 reduction (unit: ton)

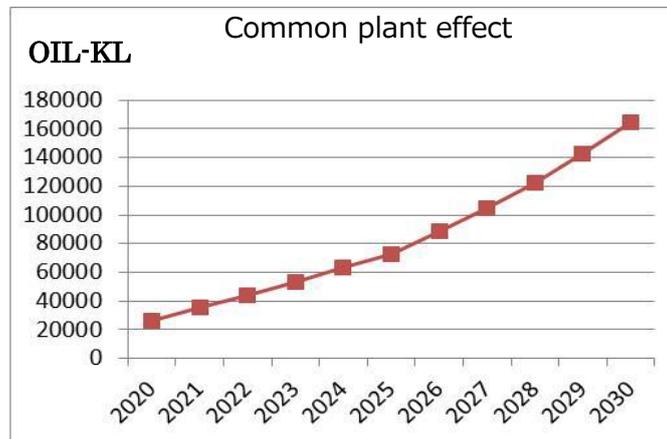


Fig.S-12. Quantity of Oil reduction (unit: KL)

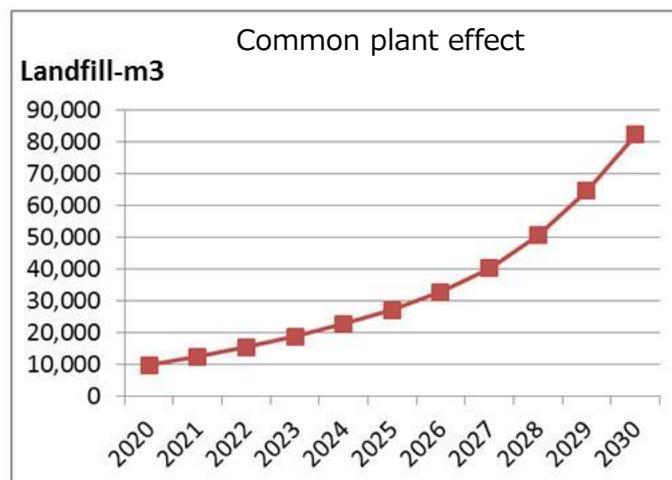


Fig.S-13. Quantity of landfill volume reduction (unit: m3)

3.6 The further spread of low-carbon products

It is concerned that CF and PV waste will become the big environmental problem in the future, so the commercialization of CF/PV recycling will be a clue to solve simultaneously. From the above, the spread of low-carbon products is expected at the following point of view.

- The spread recycled CF materials of the low energy basic unit
- Improvement of the mileage such as cars by expanding the application of recycled CF materials
- The spread of low-carbon glass with the spread of recycled PV panel materials
- Promotion of the PV spread that is renewable energy

4 Business-related evaluation

4.1 The consideration on cost and investment recovery period

It was aimed for a CF/PV recycling business evaluation with the real production scale.

At present, raw materials waste gathers enough in neither CF recycling nor PV panel recycling. So it will be late at the commercialization time and a disposal period will be prolonged if we start recycling business in each individual treatment. Therefore, we evaluated feasibility in the case of individual treatment and in the case of common use. Moreover, we estimated the time when the business can be started.

Fig.S-14 shows the CF reproduction cost in the case of common use plant when CF reproduction cost is considered to be 100. As shown in the figure, it is estimated that the cost reduction effect is about 30% of the reproduction cost due to common use of equipment.

Fig.S-15 shows the PV reproduction cost in the case of common use plant when PV reproduction cost is considered to be 100. As shown in the figure, it is estimated that the cost reduction effect is about 60% of the reproduction cost due to common use of equipment.

The main reason is the reduction in fixed costs due to the increase in occupancy rate by common use. In addition, as a result of estimating the investment collection period, it is within the investment collection period that CF business recycling alone can begin business after 2024 on a shared reactor base or after 2020 on a shared reactor base (see Figure S-16). On the other hand, we judged that the business of PV recycling alone is unrecoverable for investment before 2030.

From the above, it is concluded that in the case of CF recycling and PV recycling alone, the project start year is after 2024, but in the common furnace the project can be started from 2020. Investment recovery impossible

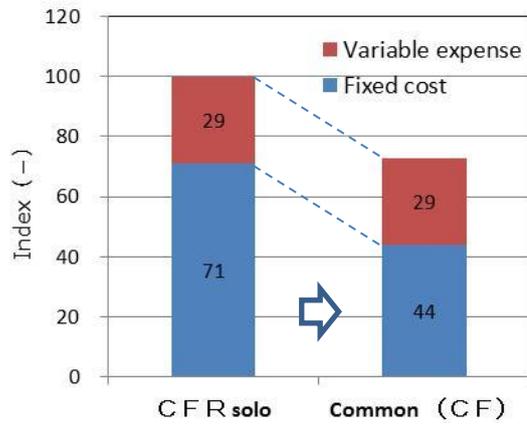


Fig.S-14. Comparison of CF recycled costs

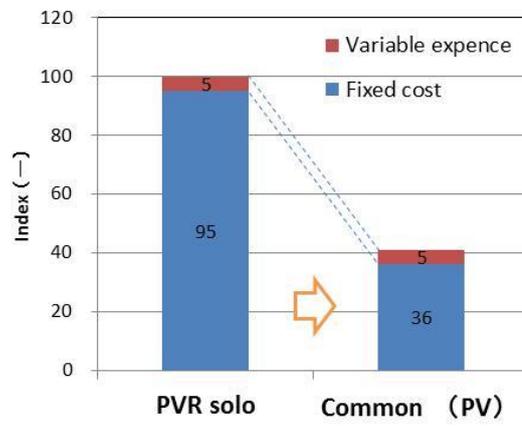


Fig.S-15. Comparison of PV recycled costs

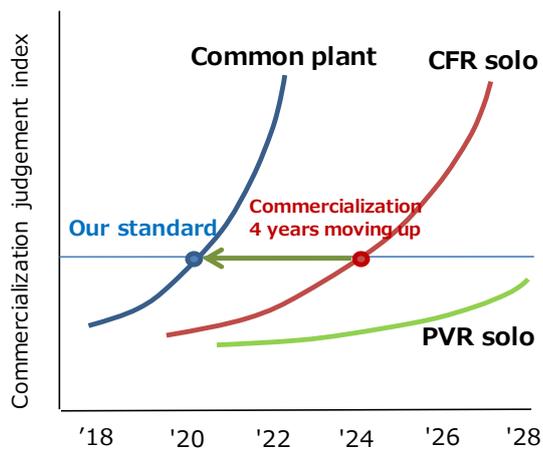


Fig. S-16. Image of commercialization judgement

4.2 Consideration on raw materials and demand of CFR and PVR

Regarding raw material securing of CFRs, from the viewpoint of quantity and quality, specs out products from the CF manufacturing process at group companies and major CF users are targeted. Considering the CF processing volume of the common plant being demonstrated in our project, the CFRP disposal volume of 1,000 tons per year is adequate.

In the long term, scrapped cars and waste aircraft will also be subject to recycling. Their manufactures are strongly speculated that they want to recycle their end materials specs out products themselves (to form a closed loop).

Regarding demand for CFR, it is expected that chemical manufacturers produce 50 to 100 tons per year, automobiles, processing manufacturers and others around several 10 to 100 tons. In the long term, we assume that a closed loop in the automotive manufacturer is formed.

Regarding raw materials for PVR, the initial defective products or the damaged products due to a disaster etc. will be processed for the time being. Those quantities are sufficient to be handled in the common plant being demonstrated in our project. Also, since waste PV panels are picked up as industrial waste, if the industrial waste disposal expenses assumed at the present moment (current actual disposal price) are accepted, it is possible to do business sufficiently.

On the other hand, current demand for recycled PVR is the glass fiber raw material for building. In the future, it is required to return it to the glass maker as glass cullet. However, at this time it is difficult to supply the amount recycled required by plate glass manufactures.

5 Our project's status of achievement

Table S-5 shows the brief of our operation for this project.

Table S-5. The brief of our operation

	item	subject	status of achievement
①	<ul style="list-style-type: none"> •Building of common pilot plant •Demonstration experiment 	<ul style="list-style-type: none"> •Large-scale facilities construction costs, Examination of the running cost, Checking furnaces materials, Operation method, 	<ul style="list-style-type: none"> •Large-scale facilities construction costs approximate completion. •Driving method completion. •Running cost estimation completion
②	<ul style="list-style-type: none"> •Examination using a batch furnace and small type consecutive furnaces 	<ul style="list-style-type: none"> •Processing temperature, Processing time, Confirmation of the quality (fiber strength, quantity of resin residual substance) 	<ul style="list-style-type: none"> •Processing temperature, time fixed •Physical properties of recycle carbon fibers, quantity of resin residual substance and compound product measuring finished
③	<ul style="list-style-type: none"> •Survey of CF wastes (raw materials fo CF recycling) 	<ul style="list-style-type: none"> •Investigation of CF wastes from the group companies •Investigation of CF wastes from major customers of group companies •Investigation of identified CF wastes from the market 	<ul style="list-style-type: none"> •CF intermediate product wastes from the Mitsubishi chemical of the parent company obtained •CF wastes from a car manufacturer obtained •CFRP wastes from a company started to purchase
④	<ul style="list-style-type: none"> •Survey of market for recycled CF products 	<ul style="list-style-type: none"> •Survey of uses of recycled CF •Examination of the superiority (hypothesis) •Intelligence by the company hearing 	<ul style="list-style-type: none"> •Surveing recycled CF's use by company hearing (e.g. a car, a plane, a household appliance, building materials, a hydrogen tank, sporting goods, a material processing maker) •Possibility of supplying good cost performance recycled CF •Collection of most recent and future exit information from several candidate customer 20
⑤	<ul style="list-style-type: none"> •PV panel wastes recycling 	<ul style="list-style-type: none"> •Establishment of the temperature condition to prevent "the breaking" of the panel •Reduction of the quantity of impurities residual substance •Grasp of the quantity of PV panel wastes collection in Kyushu Yamaguchi area •Reuse panel evaluation method investigation 	<ul style="list-style-type: none"> •PV glass panel simulation completion of the temperature condition •Collection of PV panel wastes of Kyushu Yamaguchi area results data grasp completion •Investigation of intelligence about the reuse panel evaluation method by a reuse supplier completion
⑥	<ul style="list-style-type: none"> •LCA evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> •LCA reduction effect by the common CF/PV recycling plant reduction confirmation 	<ul style="list-style-type: none"> •LCA reduction effect confirmation by the CF/PV common plant •The accumulation CO2 reduction quantity by the early industrialization test calculation is 26,370 tons
⑦	<ul style="list-style-type: none"> •Business-related evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> •CF/PV alone recycling cost grasp •Recycling cost grasp in the common use furnace •Expectation of the business start possibility year •Business profitability grasp 	<ul style="list-style-type: none"> •CF/PV alone recycling cost test calculation completion •Recycling cost test calculation completion in the common use furnace •In the case of a common use furnace, a business start is possible from 2020. The investment payback period at that time is four years •In the case of CF, PV recycling alone, it becomes the business start from after 2025

6 Our future plan

Fig. S-16 shows our future business plan.

Subject	2018 (FY)	2019 (FY)	2020 (FY)	2021 (FY)
Preparation of business start (Construction of large-scale plant)	Sample work based on the common plant	Construction of large-scale plant	Sales release	
Future business	R&D	R&D Stage-up ~ Mass production trial		Beginning sales
Reuse panel business		Reuse PV panel sales release		
Preparation of pilot business using CF/PV common plant	Industrial waste facilities application	Authorization	Recycled PV panel sales release based on the common plant	

Fig.S-16. Our future business plan

The future tasks of CF recycling and PV recycling are assumed as follows.

Regarding recycled CF, from the viewpoint of quality assurance, it is preferable to use CF wastes from specific routes in which the CF type and presence or absence of contamination are known. However, in the future recycling of large amounts of CFRP on the market, it is desirable to develop sorting collection schemes and develop contamination inspection and removal techniques. Especially, it is desirable to develop not only CF recovery but also other recycling methods that can recover other materials such as steel and aluminum that are used at the same time, in order to make multi-material that is supposed to progress in automobile applications. In addition, in order to promote the use of recycled CF, it is desirable to standardize regeneration CF at an early stage.

Regarding PV panel recycling, the reuse business will be preceded. After that, it is desirable to build a business model at an early stage that uses high quality PV panel recycled materials as a glass cullet that produces less CO2 at manufacturing time than conventional glass. By doing so, it is thought that it can solve the problem of recyclability, which is one of the obstacles to the spread of PV and can further contribute to the reduction of environmental burden.

The end

1. 背景および目的

航空機産業を中心に「軽くて、強く、腐食しない」といった特徴を持つ炭素繊維（以下、CF）の利用が拡大している。CFの市場規模（世界）は、2015年時点で約2,000億円（約7万t）、2020年には約4,300億円（約14万t）と予想されている（出所：富士経済）。国内産業においても、航空機の構造品を中心に利用が進んでおり、今後は、自動車産業での導入拡大が見込まれている。

CFの利用拡大に伴い、加工時に出る廃CFが増加傾向にある。CFは出荷量の約30%が加工端材として排出されると考えられ、現状においても、既に、国内の航空機メーカーだけでも年間1,000tの廃CFが排出されている。更に、2020年代の中頃からは、10年前に導入が開始されたCF素材の使用後廃棄量が拡大見込みである。

一方で、CFのリサイクルは進んでおらず、リサイクル材の普及も見込めない状況が続いている。リサイクル手法としては、500～600℃の加熱プロセスを中心とした「加熱分解方式」が主流であり、技術的には概ね確立されている。しかし、現状では、リサイクル設備が小規模であるため、処理コストが下がらず、販売価格の観点から再生材導入が拡大しない要因となっている。また、再生材の導入拡大が見込めないことから、各社とも規模拡大の投資に踏み切れないのが現状である。また、再生材の用途開発に向けたマーケティング活動があまり進んでいないことも要因であるといえる。

結果、リサイクルしても使い道がない状態であり、リサイクル用資材として受け入れる事業者は少なく、結果として、産廃として処理されているのが現状である。

本事業の目的は、CF及び太陽電池パネル（以下、PVパネル）のリサイクルを持続可能な事業として早期に実現することで、天然資源等の代替及び埋立処分量の削減を進め、エネルギー起源CO₂の削減及び埋立処分場の延命に寄与することである。上記目的のため、本事業では、廃CF・廃PVパネルの両方を処理可能なリサイクル設備の開発に向けた実証を行うとともに、CF再生材の新たな用途を開発することで、CFおよびPVパネルの持続可能なリサイクルスキームの早期実現を目指す。次にCFリサイクルとPVパネルリサイクルを共用設備で実施するスキームを図1-1に示す。

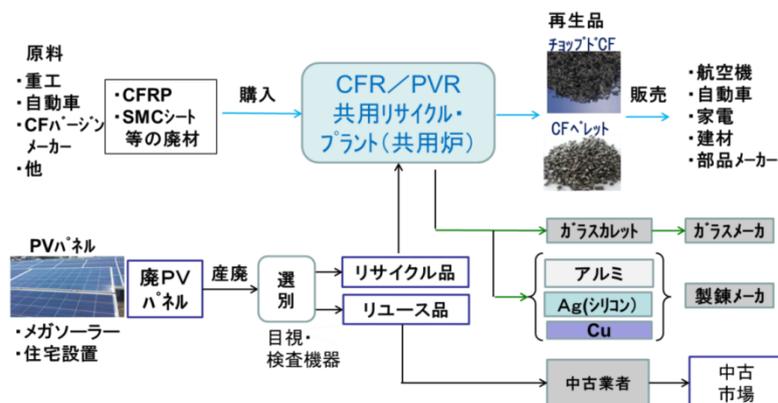


図1-1. 共用リサイクルプラントによるCF/PVリサイクル・スキーム

2. 実証事業の概要

2.1 実施項目

廃CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics)および廃PVパネルリサイクルの両方を可能とする設備の開発と実証を実施した。更にはCFRP及びPVパネルの持続可能なリサイクルスキームを早期実現する為に、再生CFの新たな用途開発を実施した。これらの実施に当たり、表 2-1 に示す8つの実施項目を設定した。

表 2-1. 本事業の課題

	項目	目的	課題
①	共用パイロット炉建設・実証実験	廃CF・廃PVパネルの両方を処理可能なリサイクル設備の開発	・設備材質、運転法、大規模設備建設費・ランニングコストの検討
②	小型炉熱処理検討	廃CFRPの熱処理条件検討および再生CFの品質確認	・処理温度、処理時間、品質(繊維強度、樹脂残渣量)の確認
③	CF入口(原料)調査	質・量ともに優れ、継続的に入手可能なCFRP廃材の確保	・グループ会社から排出される廃材の調査 ・グループ会社の大手顧客から排出される廃材の調査 ・市場から排出される素性が明確な廃材の調査
④	CF出口(製品)市場調査	既存CF+他資源代替に向けた、代替可能な用途調査とヒアリングによる検証	・用途の洗い出し ・優位性(仮説)の検討 ・事業者ヒアリングによる情報収集
⑤	PVパネルリサイクル検討	廃PVパネルの熱処理条件検討と廃PVパネルリサイクルのビジネスモデル構築	・パネルの「割れ」を防ぐ温度条件の確立 ・不純物残渣量の低減 ・九州山口廃パネル収集量の把握 ・リユースパネル評価方法調査
⑥	LCA評価	リサイクルCFのLCA把握	・CF/PVリサイクル設備共用化によるLCA低減効果確認
⑦	コスト評価	共用炉でのCF/PVリサイクル再生コスト把握	・CF/PV単独リサイクルコスト把握 ・共用炉でのリサイクルコスト把握
⑧	事業性評価	本格生産スケールでのCF/PVリサイクル事業性評価	・事業開始可能年の推測 ・事業採算性把握

3. 実証事業の結果

3.1 廃CF・廃PVパネルの両方を処理可能なリサイクル設備の開発

3.1.1 共用パイロット炉の開発

1) 加熱方式

CFリサイクルの原料となるCFRP廃材（特に航空機用廃材）は耐熱性、機械的剛性も高いため、熱分解に際しては伝熱効率の高い手法が必要となる。そこで雰囲気ガスとして過熱水蒸気を候補とした。図 3-1 に示すように過熱水蒸気は不活性ガスとして機能し、他の不活性ガス加熱と比べ保有エンタルピーが高く対流伝熱に優れるだけでなく、輻射伝熱性能も高い。そのため、CFRP廃材のような厚みのある材の処理の場合は熱浸透速度の速い過熱水蒸気が有利であると言える。

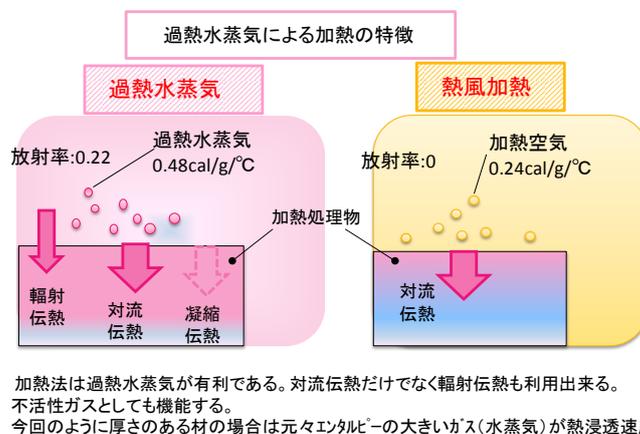


図 3-1. 過熱水蒸気と熱風加熱の熱伝導に関する概念図

下記実験で、過熱水蒸気がエポキシ樹脂のクラッキング性に優れるが判った。写真 3-1 ~2 に示すようなCFRPの加熱実験装置を準備した。これは窒素加熱と過熱水蒸気が切り替え使用出来るようになっており、分解ガスサンプリング用の透明のテドラーバッグ用いてガスを採取した。同じ温度条件で窒素加熱の分解ガスと過熱水蒸気のガスを採取した。窒素ではバッグに着色が見られるが 水蒸気の場合はクラッキングが進み着色は見られなかった。また処理するCFRP材に対する昇温速度も速かった。これからも過熱水蒸気が雰囲気ガスとして有利であると推測した。



写真 3-1. 加熱水蒸気処理設備

写真 3-2. テドラーバッグの着色状態

2) 炉入出口シール方式

CFリサイクルもPVリサイクルも高温での熱分解時に可燃性ガスが発生するので、保安上炉内は無酸素を維持する必要がある。現在当社が保有するPVリサイクル炉は、入出口の高さが10mmのラビリンスシールで行っているが、これは廃PVパネルは厚さが5mmと薄いので採用できる方法である。本事業では嵩張るCFRPの板材や破砕材が対象となるのに加えて、変形したPV割れパネルも対象となる為、高さ10mmのラビリンスではシールが困難である。これらのことから、十分な炉入出口の高さを稼ぐことが出来る特殊シール方式を採用した。

3) 搬送方式

搬送方式には一般的にプッシャータイプとメッシュベルト方式がある。プッシャータイプは処理物を入れる搬送ボックスを設け、それを直接エアシリンダー等で押すタイプである。これ故にボックスには剛性が必要であり、このタイプはこぼれやすい粒状、粉状の加熱処理に多く用いられる。もう一方のメッシュベルトタイプは自動車業界の部品処理や食品業界では良く用いられている。CFRP処理も熱風の通風性が良く、伝熱性能がより高いメッシュベルトタイプを採用した。当社保有のPVリサイクル炉もこのメッシュベルトタイプ方式である。

4) 廃熱回収方法

CFリサイクルもPVリサイクルも、何れも有機分解ガスが発生しアフターバーナーで約1000℃で燃焼無害化される。ここで廃熱が発生する。PVリサイクル炉ではマッフル（2重タイプ）で電気加熱の要らない廃熱利用システムを実行中である。7年間の実績もあり、本格炉では同様方式で実施する計画であるが、本事業のパイロット炉では燃焼する樹脂が10kg程度/hrと微量である為リーズナブルではなく、廃熱利用タイプとはしなかった。

5) 共用パイロット炉仕様

共用パイロット炉の構成を図3-2に模式的に示す。

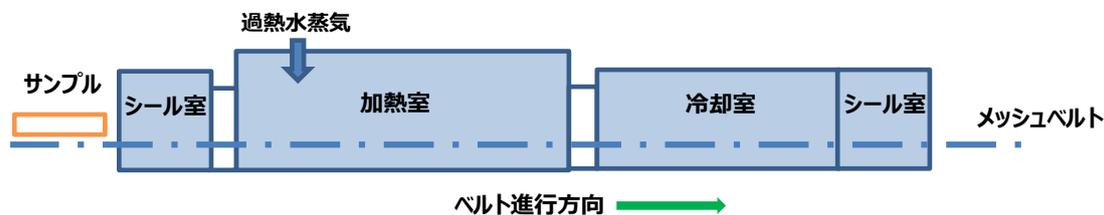


図3-2. 共用パイロット炉の模式図

炉内温度は最高700℃まで昇温可能とした。炉内雰囲気は常用過熱水蒸気雰囲気であるが、窒素雰囲気への切り替え可能とした。シールは既述のとおり特殊なシール構造と窒素

ガス吹き込み方式とし、更には炉入出口端に上下動可能なシャッターを設置し、被処理物の嵩に合わせて調整できるようにした。搬送はメッシュベルト方式とし、搬送速度は 1～7m/hr まで可変とした。当該パイロット炉の能力は、廃CFRP処理ベースで約 200t/y となるよう、炉長・炉幅を調整した。

3.1.2 共用炉運転条件決定の為の予備検討

1) PVパネルの割れの可能性に関わる化学工学的シミュレーション

(1) 目的

CFリサイクルの原料となるCFRP廃材は、耐熱性、機械的特性も高く、熱分解に際しては、伝熱効率の高い手法が必要であり過熱水蒸気雰囲気での熱分解を考えている。過熱水蒸気は窒素加熱と比べ、保有エンタルピーが高く、非対称分子である為の輻射伝熱性能も高い。共用化を計画している為にもう一方の被処理物であるガラスパネルを通した時に、ガラスが割れないで工程通過することが求められる。そこで化学工学的に熱解析を行い割れの可能性とその制御法につき検討を行った。

(2) 検討方法

コンピューターシミュレーションを行うに当たり、次の手順で検討を進めた。

- ・手順-1：当社が保有する窒素雰囲気加熱するタイプの連続炉（幅 1.5m×加熱炉長 5m）において、PVパネル処理で実績のある昇温部の温度プロファイルを準備する。ここで加熱雰囲気が窒素から過熱水蒸気に変更した場合に、急速にPVガラスパネルが昇温して割れるかどうかをシミュレーションする事にした。
- ・手順-2：準備した温度プロファイルを加熱ガス流量、温度を流す事で昇温するが、これを実機の窒素雰囲気加熱でシミュレーション値との合わせ込みを行う。
- ・手順-3：合わせ込んだ計算式に過熱水蒸気の物性値を入力し昇温速度の違いを計算する。
- ・手順-4：計算された昇温速度により割れるかどうかは、板ガラスメーカー及びガラス加熱の知見のある炉メーカーの見解を確認する。割れる可能性が指摘された場合は、パイロット炉での制御系をチェックし、パイロット対応可能かどうかを確認する。
- ・手順-5：パイロット炉にて過熱水蒸気雰囲気の時に、上記シミュレーションの温度プロファイルと比較した上で、パネルの割れについて実証する。もし割れの可能性があれば制御系で対応出来るかについて検討を進める。

(3) シミュレーションのモデル

- i) マッフル炉であるので熱交換方式は2重管熱交換器をモデルにおいた。管壁内外ガス流速、雰囲気ガス物性値、温度条件により境膜伝熱係数を算定した。
- ii) ゾーンは実機寸法に合わせ3ゾーン（予熱、加熱、冷却域）に分けて計算した。
- iii) ガラスパネルの搬送速度は実績のある温度プロファイル時と合わせ 0.0015m/s とした。

iv) 温度プロファイルを見ると 300℃前後に昇温が緩やかになるプラトー域がある。これは酢酸分解があり吸熱反応の為である。ポリエチレン分解に際しても同様に潜熱としてシミュレーションに入れて計算する。以下にシミュレーションモデルと計算式を図 3-3 に示す。

• 各伝熱形態を考慮してモデル化

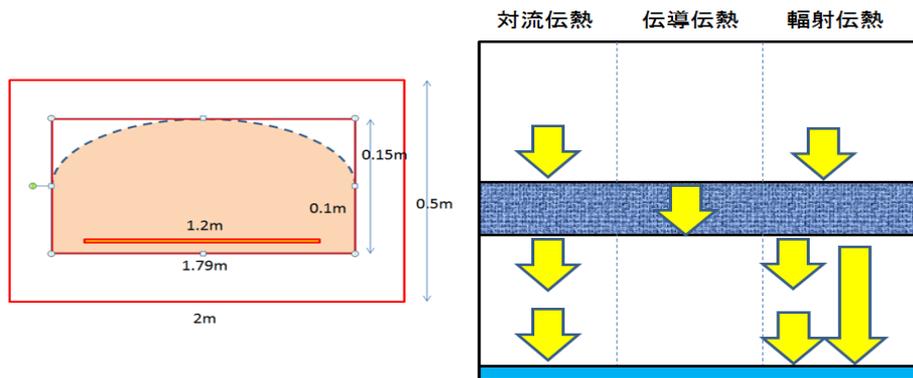
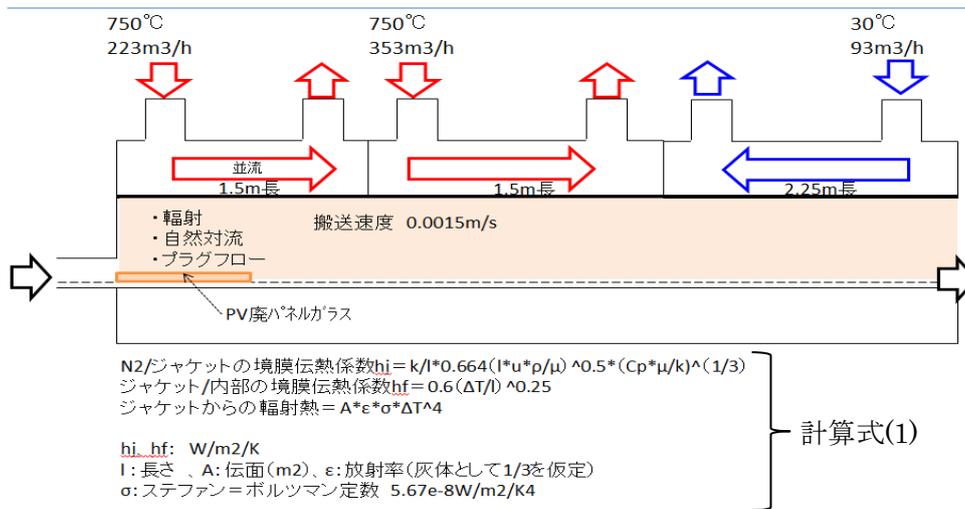


図 3-3. シミュレーションモデル

出典：三菱ケミカル株式会社（本節の図表すべて）

流れと分割ゾーン



当社加熱炉を熱流動解析する為にモデル化すれば上記のようになる。このモデルをベースに ASPEN を用いてシミュレーションを行った。使用した伝熱計算式(1)は上に記載したとおりである。

- 加熱ガスとジャケット間の境膜伝熱係数 h_j
強制対流伝熱で流れに並行な平板であるので伝熱係数計算は上記の式とした。
- ジャケットとプロセス間の境膜伝熱係数 h_f
マッフル内は熱媒体ガスの流速は、 $< 0.1 \text{ m/s}$ と遅いので自然対流伝熱の上記の式とし

た。

c. ジャケット壁面とガラス板との輻射伝熱

輻射伝熱計算にはジャケット壁とガラス板間及び炉内ガスとガラス板間の輻射伝熱量を計算した。

d. EVA 分解に係る反応熱（吸熱反応）

事前に熱分析を行い分析で求められた熱量を計算に入れた。

250～350℃域で起こる酢酸分解過程では 32.6kcal/mole の吸熱（ガ）考慮。

350～400℃域でのポリエチレン分解過程では 53.1kcal/mole を同様に考慮して計算した。

(4) 検討結果と考察

シミュレーション結果と考察について以下に示す。（図 3-4 参照）

- ・ ガラスパネルの昇温速度は最高温度へ到達する時間が約 20%早くなった。
- ・ 上記結果に対する板ガラスメーカーの見解を以下に記載する。
 - i) 昇温速度が速くなるのは悪い方向ではあるが、この程度では問題はないのではないだろう。むしろ昇温速度よりも降温速度に注意すべきである。
 - ii) 水蒸気はガラス（SiO₂）に当たるとシラノール基が生成し SiO₂ 結合が切れ、強度低下の原因になるので確認テストに際しては配慮すべきである。
 - iii) 割れにつながる因子は表面のミクロンレベルの傷である。今回の対象はリサイクルガラスなのでその分は n 数を取り、割れ率として把握するように配慮すべきである。

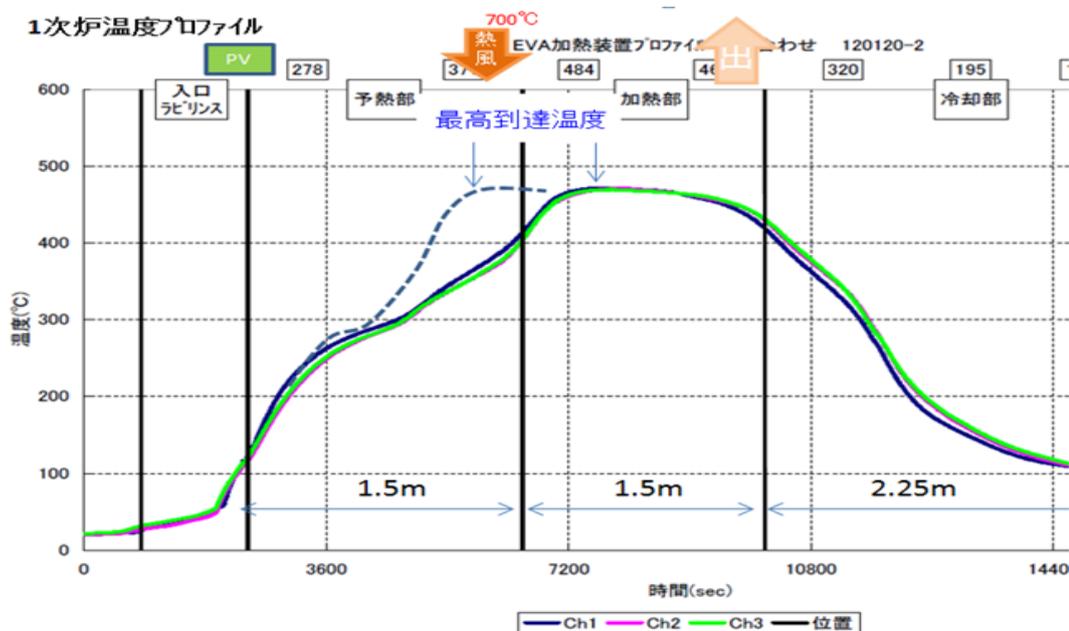


図 3-4. シミュレーション結果

出典：三菱ケミカル株式会社（本節の図表すべて）

(5) 結論

- i) 事前シミュレーションにより昇温速度を制御する予熱ゾーンの電気ヒーターは3個に分けて細かなコントロールを可能とした。降温側も細かな分割（直接、間接両用）制御が可能とした。
- ii) 実際に共用パイロット炉にて、ガラスパネルの工程通過性を確認した。結果は昇降温過程でも割れの発生はみられなかった。よってCFリサイクルとPVリサイクルの共用化運転は可能であると結論付けた。

2) CFRP熱分解挙動の把握

(1) 分析機器を用いた検討

i) 目的

廃CFRPおよび廃SMCに使用されているマトリックスの熱分解条件の把握を目的として熱重量減（以下、TG）測定を実施した。

ii) 実験条件

- ・測定装置：NETZSCH社製TG/DSC 型番：STA449 F3
- ・測定サンプル：CFRP廃材、SMC廃材
- ・測定条件：窒素雰囲気中で室温から800℃まで10℃/minで等速昇温

iii) 実験結果

試料がCFRP廃材の場合のTG測定結果を図3-5に、SMC廃材の場合のTG測定結果を図3-6に示す。

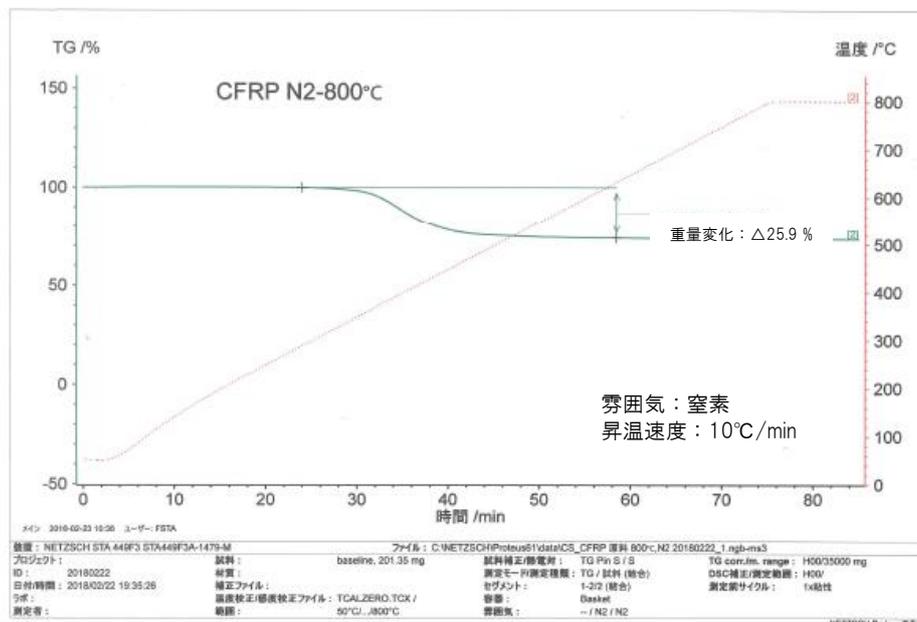


図3-5. 廃CFRPの熱重量減測定

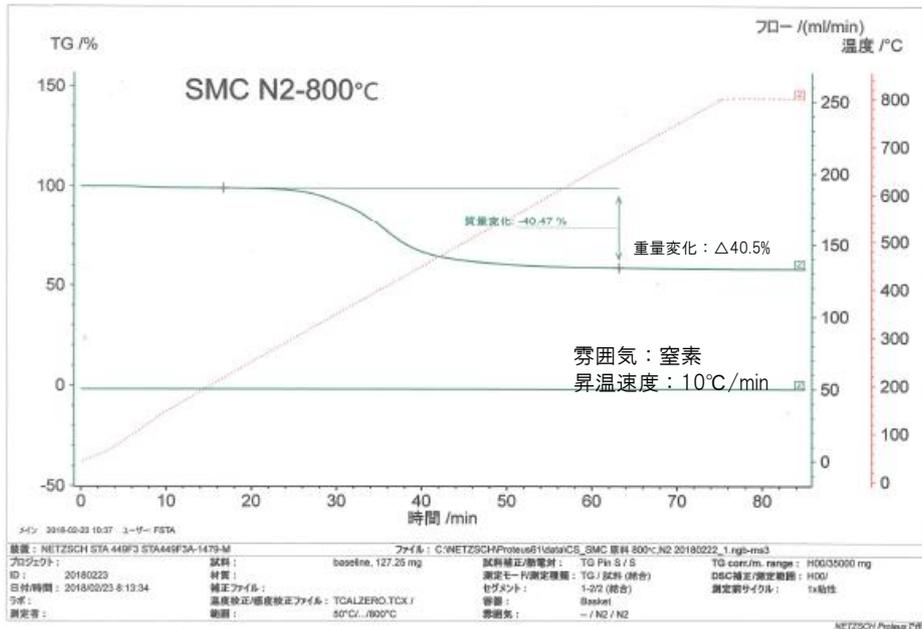


図 3-6. 廃 SMC の熱重量減測定

何れの試料も窒素雰囲気下 300°Cを超えた辺りから重量減が始まり、600°C付近で減量が落ち着いた。廃 CFRP の場合の重量減は 26%であった。また廃 SMC の場合の重量減は 40%であった。

(2) バッチ熱処理炉を用いた検討

i) 目的

廃 CFRP および廃 SMC に使用されているマトリックスの熱分解条件の把握を目的としてバッチ熱処理炉を用いた検討を実施した。

ii) 実験条件

- ・熱処理装置：成田製作所製電気炉（炉内寸法：φ900 X 930）
- ・サンプル：CFRP 廃材
- ・熱処理条件：600°Cまで 4°C/min で昇温後、所定時間保持
 雰囲気ガス：過熱水蒸気
 サンプル量：5～10 kg/batch

iii) 実験結果

600°C到達後の保持時間が 60 分および 120 分とした場合の樹脂残渣量に差異は見られなかった。この時の樹脂残渣量は 15～18wt%であった。この結果より 1 次処理の焼成時間は 60 分以下で問題ないとした。尚、再生 CF の樹脂残渣量の測定は、JISK7075:1991 における硫酸分解法に準拠して、再生 CF に付着する樹脂残渣を除去した後の重量を元の再生 CF の重量で除して求めた。

(3) 小型連続炉を用いた検討

i) 目的

廃CFRPおよび廃SMCに使用されているマトリックスの熱分解条件の把握を目的として小型連続熱処理炉を用いた検討を実施した。

<実験1>

ii) 実験条件

- ・熱処理装置 熱処理炉：関東冶金工業社熱処理炉 MEB-20 型（加熱室 3ゾーン、炉長：2.3m）
ガスクロ：アジレント社製 490 マイクロGC
- ・サンプル：CFRP廃材
- ・処理条件：炉内温度 600℃
雰囲気ガス：窒素
サンプル量：500g/トレイ（トレイ寸法：150X150X65mm）

iii) 実験結果

試料が廃CFRPの1次処理における熱分解ガス発生挙動を図3-7に示す。

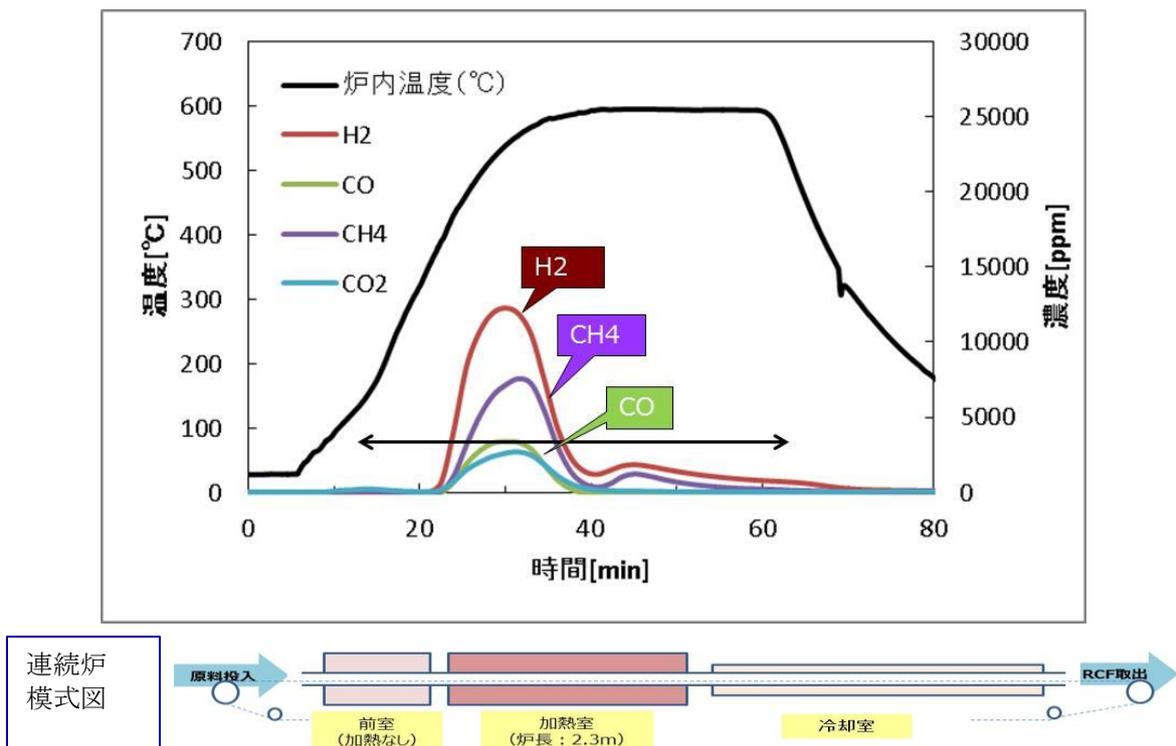


図3-7. 廃CFRPの1次処理における熱分解ガス発生挙動

分解ガス (H₂, CH₄, CO, CO₂) は約 400℃から発生し、ガス発生時間は 20～30 分であった。このガス発生挙動から必要処理時間を約 30 分とした。またこの時の原料 (有姿) の重量は

532g (36%、樹脂成分含有) であり、熱分解処理後の重量は 392g (26%の重量減、樹脂の70%分除去に相当) であった。

<実験 2>

ii) 実験条件

- ・熱処理装置 熱処理炉：関東冶金工業社製熱処理炉 MEB-20 型(加熱室 3ゾーン、炉長：2.3m)
ガスクロ：アジレント社製 490 マイクロGC
- ・測定サンプル：SMC廃材を用いた1次処理品※
(※ K社保有連続炉使用、窒素雰囲気、600℃、30分処理、樹脂残渣量17wt%)
- ・測定条件：炉内温度 600℃
雰囲気ガス：窒素
サンプル量：150g, 75g, 37g/トレイ (トレイ寸法：150X150X65mm)
嵩密度は何れの場合も 0.1g/cc

iii) 実験結果

図 3-8 にサンプル量が 150g の場合の熱分解ガス発生挙動を示す。蓄熱のためトレイの中心部と外で最大 115℃の温度差が生じた。また加熱室に入ってから 35min~80min の間で顕著な CO 及び CO₂ の発生が確認された。この時の重量減は 12%であった。

図 3-9 のサンプル量が 75g の場合は、トレイ中心部と外との温度差は最大 45℃と小さくなったが、依然蓄熱の発生が確認された。また加熱室に入ってから 20min~40min の間で顕著な CO と CO₂ の発生が見られた。この時の重量減は 11%であった。

図 3-10 のサンプル量が 37g の場合は、トレイ中心部と外との大きな温度差は発生せず、除熱が十分になされていることを確認した。加熱室に入ってから 23min から顕著な CO 及び CO₂ の発生が見られた。この時の重量減は 11.5%であった。

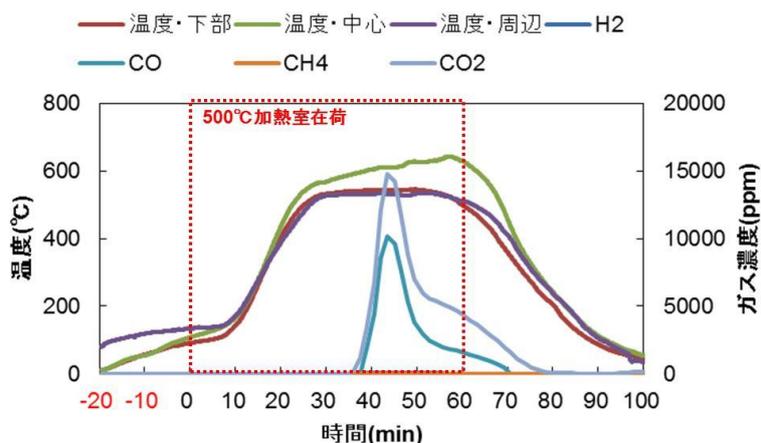


図 3-8. 廃 SMC (サンプル量:150g) の 2 次処理における熱分解ガス発生挙動

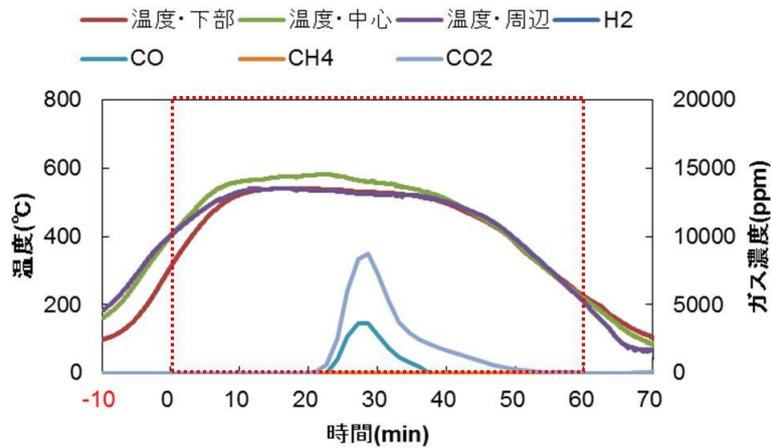


図 3-9. 廃SMC（サンプル量:75g）の2次処理における熱分解ガス発生挙動

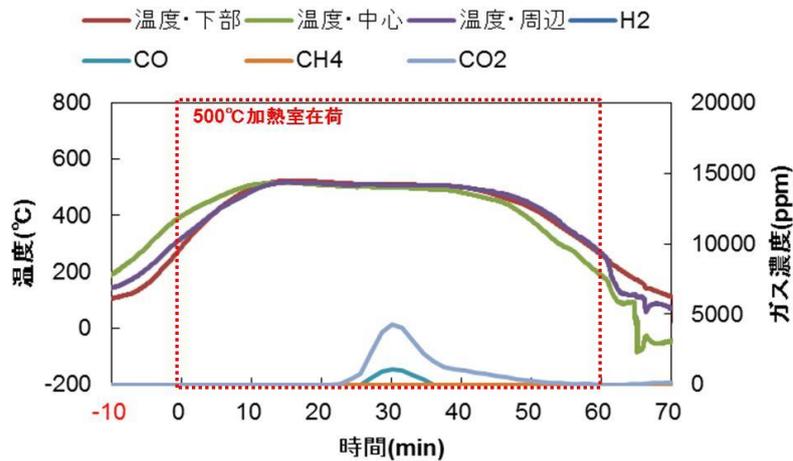


図 3-10. 廃SMC（サンプル量:37g）の2次処理における熱分解ガス発生挙動

(4) まとめ

①～③で予備検討結果の一例を示したが、これまでに当社で蓄積した検討結果から、本格炉での原料種毎の熱分解処理条件を表 3-1 にまとめた。

表 3-1. 原料種毎の熱分解処理条件

項目		原料種			
		SMCシート	CFRP	フリアレク	PVパネル
原料情報	母材樹脂	不飽和ポリエステル樹脂	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂	エチレン酢酸 ビニル樹脂
	構成(重量比)	CF:樹脂=50%:50%	CF:樹脂=60%:40%	CF:樹脂=63%:37%	Glass:樹脂=90%:10%
	厚み	2mm程度	5~10mm程度	1mm程度	5mm程度
1次処理	雰囲気	過熱水蒸気	過熱水蒸気	過熱水蒸気	過熱水蒸気
	温度	600℃	600℃	600℃	500℃
	時間	30 min.	30 min.	30 min.	10 min.
2次処理	雰囲気	空気	空気	空気	空気
	温度	500℃	500℃	500℃	500℃
	時間	30 min.	30 min.	30 min.	10 min.

3)再生CFの強度・品質評価

(1)ストランド試験

カタログ等の炭素繊維の機械特性は、測定精度・データの再現性等から通常ストランド試験で測定された値が掲載されている。再生CFは元の連続繊維では回収できず、ストランド評価が実施出来ない為、リサイクル時にサンプルと同じ履歴を受けたバージンCFトウ（約8m）のストランド試験を行うことで、リサイクルプロセスの強度への影響を間接的に評価した。

(i)実験条件

- ・測定法：JIS R7608 に準拠
- ・測定サンプル：標準 24t タイプバージンCF（TR50S-15L）
- ・熱処理条件は図 3-11 に記載

(ii)実験結果

測定結果を図 3-11 に示す。不活性雰囲気処理では機械特性の低下は見られなかった。酸化性雰囲気では強度・弾性率とも低下は見られるが、弾性率の低下は鈍い傾向にあった。

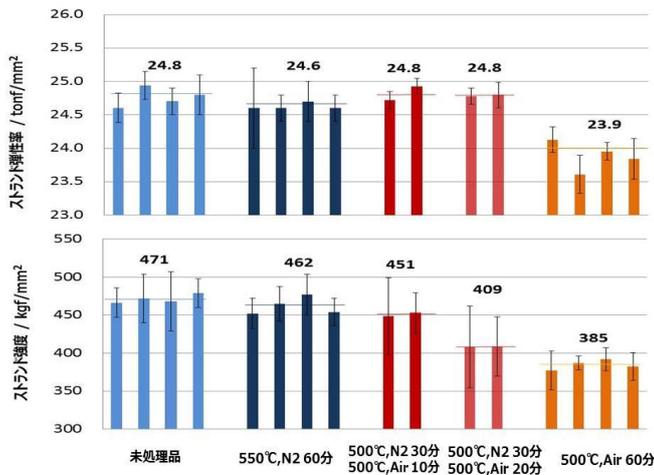


写真 3-1. 測定に供したバージンCFトウ

- ・各バ-の値は n=10 の平均値
- ・エラーバ-は標準偏差
- ・図中の数字は各条件に供した試料本数の平均値

図 3-11. 各種熱処理条件CFのストランド特性

(2) モデルサンプルの単繊維引張試験

上述したように再生CFは長繊維では回収出来ないので、繊維長が短くても繊維強度測定可能な単繊維引張試験でリサイクルプロセスの強度への影響を評価した。

i) 実験条件

- ・測定法：JIS R7606 に準拠
- ・測定サンプル：標準 24t タイプバージンCF (TR50S-15L)
- ・熱処理条件は図 に記載
- ・測定条件 試長：5mm、試験数(n)：100 本
- ・測定手順：図 3-12 参照

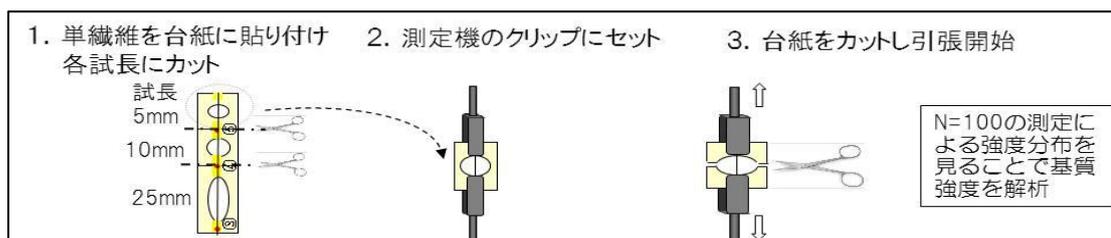


図 3-12. 単繊維強度測定用サンプル調製手順

ii) 実験結果

測定結果を図 3-13 に示す。図中のm値はワイブル形状パラメーター、 σ 値は平均引張強度を示した。酸化性雰囲気での熱処理により、単繊維強度は未処理品に対して約3割ダウンとなった。酸化性雰囲気処理によりm値が若干大きく（強度のバラつきは小さく）なった。また酸化処理により繊維に欠陥が導入された一例を SEM 写真で示した。

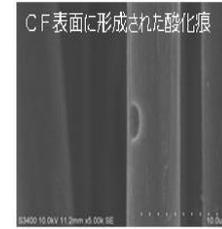
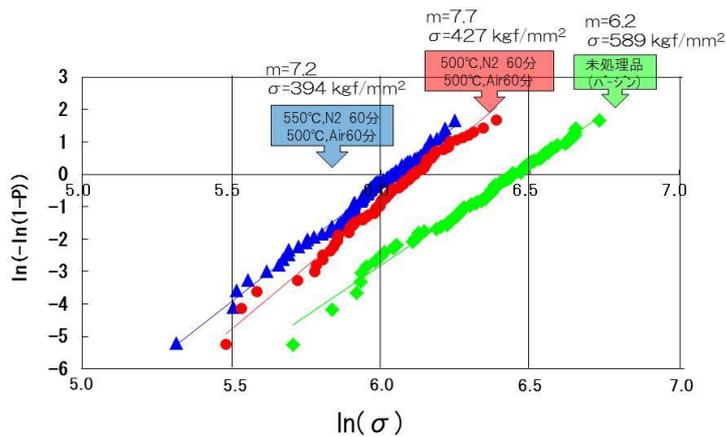


写真 3-2. 繊維表面の SEM 観察

CF 繊維径 : 7 μ m

図 3-13. 各種熱処理条件 CF の単繊維強度

(3) CFRP から回収した再生 CF (1 次処理品) の単繊維強度測定

廃 CFRP のマトリックス樹脂を不活性雰囲気下で熱分解して再生した CF (1 次処理品) は、樹脂残渣により繊維同士が軽く固着しているため、単繊維強度測定のために繊維一本を取り出す際、繊維にダメージが蓄積することが考えられる。そのためこれまで正確な繊維強度が測定されていなかった。今般、繊維強度を見積もるために、大気雰囲気下にて炭素繊維強度に影響を与えない程度の抽出温度で加熱することにより樹脂残渣を除去し、単繊維強度測定を試みた。

i) 実験条件

- ・測定法：JIS R7606 に準拠 (試長：10mm、試験数 (n)：30 本)
- ・測定サンプル：廃 CFRP 1 次処理品
(使用バージン CF：30 t タイプ高強度品、熱処理条件：窒素雰囲気、600°C、1 時間)
- ・サンプル調製手順：図 3-14 参照



図 3-14. 1 次処理 CF 単繊維強度測定のためのサンプル調製手順

ii) 実験結果と考察

図 3-15 に単繊維強度の熱分解処理時間依存性を示した。未処理サンプルの単繊維強度は相対的に低い強度発現となった。これは上述したように樹脂残渣により繊維同士が軽く固着しているため、サンプル調製時の繊維取り出しの際の繊維へのダメージの蓄積により、

相対的に低い強度となったものと推測している。処理時間が増す（30分～90分）に連れて強度が向上する傾向が見られた。これも既述の通り、樹脂残渣による固着の程度が軽減し取り出し時のダメージが軽減したためと推察している。90分以上の処理時間では強度が低下する傾向であった。この原因は、過剰な酸化処理により繊維に酸化痕等の欠陥点が導入された為と推測している。

以上の結果より、取り出し時のダメージがなければ1次処理品の繊維強度は、図中赤点線以上の強度を発現するものと推測した。比較のためにバージン品の強度レベルを図中オレンジ色実線で示した。1次処理は不活性雰囲気中で実施するため、バージン品に対する強度低下は小さく、5%ダウン程度であった。

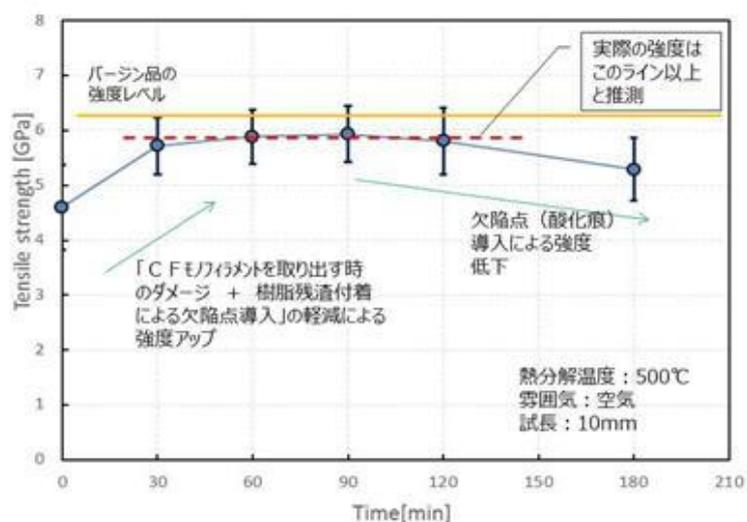


図 3-15. 1次処理品単繊維強度の熱分解処理時間依存性

3.1.3 共用パイロット炉での実証試験結果

1) PVパネル処理

過熱水蒸気雰囲気での加熱で試験を行った。シミュレーションでは20%の昇温速度アップと予想していた。昇温部の電気ヒーターで調整可能な構造としており、ヒートショックが起きない温度プロファイルで炉内温度を設定した。この状態で15枚の処理実験を行い、ガラスは15枚共割れずに処理出来る事を実証出来た。(PVパネル：S社製結晶Siタイプ、型式NE-100CR)

2) 廃CFRPの熱分解

小型連続炉試験では600°C-30分で処理出来る事を基に、パイロット炉内の温度プロファイルを設定して実験を行った。雰囲気は過熱水蒸気とN₂の両方を用いて実施した。所定の温度・時間でCFRPの熱分解処理が可能であることが確認できた。重量減少率で約26%、樹脂残渣量で約13wt% (CV3%)と、従来と、ほぼ同等の処理が可能である事を実証出来た。また設計どおりの生産性である事を確認した。

3) U T T 使用量・ヒートロス測定

共用パイロット炉でのスタートアップ時及び連続運転時のU T T 使用量を実測した。スタートアップ時の電力使用量は時間当たり約 88 kW、L P G 量は約 3.3 m³/hr、用水量は 0.02 m³/hr であった。連続処理へ移行可能な所要時間は 3 時間。連続運転時の電力使用量は時間当たり約 60kW、L P G 量は約 2.4m³/hr、用水量は 0.02m³/hr であった。さらにヒートロス量については、設計時炉体表面温度は 55℃ (234 kcal/m²・hr) としていたが、実測でも炉体 8 点の表面温度が平均 53~54℃であり設計以上のヒートロス量はなかった。

4) C F R P および P V パネルのリサイクル率

投入原料に対して製品として回収されるリサイクル率は、以下のとおりであった。

(1) C F のリサイクル率

樹脂熱分解時の廃熱利用もカウントすれば 95%となる。炭素繊維のみを回収する場合の理論リサイクル率は 54%(C F R P 中の C F 含有量は約 60wt%、再生時の歩留りを 90%と仮定)となる。共用パイロット炉での試作では炭素繊維(含樹脂残渣)のリサイクル率は 74%(繊維等の脱落なし)であった。

(2) P V パネルのリサイクル率

これまでに公表されている P V パネル(結晶 Si タイプ)のリサイクル率の実績値は、95%であり、その内訳はガラス 62%、アルミ 16%、プラスチック類 13%、結晶 Si 3%、銅・ハンダ等の金属類 1%;プラスチック類の廃熱利用を前提)である。共用パイロットでの試作では、P V パネルからのマテリアルリサイクル率は 83%であった。その内訳はガラス 56%、アルミ 23%、結晶 Si 3%、銅・ハンダ等の金属類 1%であった。プラスチック類の廃熱利用を仮定すると公表値と同じ 95%のリサイクル率となった。

3.2 再生CFの新たな用途調査

再生CFの販売が見込める用途および価格・量を明らかにすることを目的に、3.2.1節～3.2.3節のステップで調査を実施した。

3.2.1 海外のCFリサイクル事業者の動向

一般に販売されている調査レポートによると、CFのリサイクル事業に関しては欧米が先行している。そこで、欧米のCFリサイクル事業者の動向についてデスクトップ調査およびメールでのヒアリングを実施した。対象とした事業者は欧米の18事業者である。

調査の結果、下記の2点の示唆を得た。

示唆1. 技術は確立しつつあるが、事業として成立している企業は世界でも限定的である。

多くの事業者がバージンCFの9割以上の特性を確保している。また、処理能力として年間1,000t～4,000tのCFをリサイクルすることが可能となっている。しかしながら、各社の売上は最大でも4.5億円程度であり、多くの事業者は1億円以下の売上でしかない。また、各社が提供する再生CFの用途も、「航空機内装品」「船体」「携帯電話のシャーシ」「ピクセルボールのラケット」などへの試験的導入にとどまっている。

示唆2. 中国自動車メーカーによる再生CFの大量採用の可能性あり。

BMWを中心に欧州自動車メーカーが再生CFを採用しつつあるが、なかなか加速しない状況にある。そんな中、イギリスの再生CF大手のELG Carbon Fibreは中国のChery New Energy Automobile Technology Co., Ltd.が開発する電気自動車Chery eQ1への導入を目的に、現地の企業との提携を発表している。また、中国現地企業が世界初の全炭素繊維自動車を開発するなど、中国自動車メーカーにとって新規材料導入へのハードルは比較的低いと考えられる。中国は国を挙げて新エネルギー車（電気自動車、ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車）の普及を促進していることから、欧米以上に中国の自動車メーカーの方が早期に再生CFを導入する可能性がある。

3.2.2 用途の洗い出し

海外においても再生CFの採用は発展途上であることから、幅広く再生CFの採用可能性があり得る用途を検討するため、まずは、既存のCF用途および新規のCF用途を洗い出した。そして、各用途においてCF再生材の採用可能性を見出すために、ヒアリング候補先として用途に紐づく企業を抽出した。また、CF関連の情報・知見を豊富に保有していると想定されるCF加工メーカー（ヒアリング候補先）を抽出した。各調査における調査方法および調査結果を以下に記載する。

1) 既存CF用途調査

下記のステップで既存CF用途の調査を実施し、再生CFの採用可能性をヒアリングするための企業を選定した。

- Step.1 専門書およびデスクトップ調査によって、用途を洗い出し（輸送、航空、宇宙、エネルギー、一般産業、土木・建築の分野）。なお、自動車・航空機・スポーツの領域はCFに厳しい性能を要求される事が多いので再生CFの新たな用途調査は別個に行った。
- Step.2 専門書およびデスクトップ調査によって、各用途に紐づく「開発企業」「被代替材料」「潜在市場規模」を調査。
- Step.3 潜在市場規模が大きく、且つ幅広い用途を手がける開発企業をヒアリング候補先として選定。選定した企業へのヒアリング内容は後述する。

2) 新規CF用途調査

新規CF用途の調査媒体として、①特許②技術論文③専門書が考えられる。各媒体の特徴は下記のとおり。

① 特許：

実用的なアイデアが記されており、新用途探索に適している。但し、情報量が多く、的を絞る必要がある。

② 技術論文：

基礎研究が多く、用途にフォーカスした記載が少ない。そのため、新規用途探索に適さない。

③ 専門書：

既存用途の記載が多い。

以上の特徴をふまえ、①特許による調査を実施した。

調査方法は、特許データベースを活用して「業界等のキーワード」×「炭素繊維 or CF R P」で検索した上で、下記の4つの観点（除外対象）でスクリーニングを実施した。

- ・ 競合の特許
- ・ 製法の改善
- ・ 既存用途調査で抽出済み
- ・ 長繊維のみで実現可能な用途（再生CFは短繊維となるため）

キーワードについては、CFの採用が比較的進んでいないと想定される領域を採用した（表参照）。結果、38個の新規用途候補を導出し、特に「ワイパゴム」「冷媒熱交換器」「排ガス処理（活性炭素繊維）」に採用可能性を見出した。これらについては、技術的に再生CFで適用することが可能かどうかを検討する必要があるため、今後の技術開発テーマとする。

3) C F加工メーカー調査

下記のステップで、C F関連の情報・知見を豊富に保有していると想定されるC F加工メーカーを洗い出し、ヒアリング候補先を選定した。

Step. 1 専門書およびデスクトップ調査によって、C F加工メーカーをピックアップ（計27社）。

Step. 2 C F加工メーカー27社の基礎情報（設立年、本社所在地、事業概要、売上高、従業員数、展開用途、株主構成、保有する成形技術、取り扱い材料）を収集。

Step. 3 事業規模（売上高、従業員数）および展開用途で一次スクリーニング。

Step. 4 二次スクリーニングとして、株主構成から自社グループおよび競合のグループ企業の優先順位を下げる。

結果、優先順位が高い3つの企業にヒアリングを実施した（表3-3参照）。ヒアリング内容は後述する。

表 3-2. 特許検索結果

キーワード	ヒット数	新規用途候補
環境・エネルギー	73	13
環境・エネルギー 乾燥機	1	0
環境・エネルギー 排ガス	11	4
環境・エネルギー モーター	7	0
環境・エネルギー 精製	5	1
環境・エネルギー 焼却	7	3
環境・エネルギー 熱交換器	6	3
環境・エネルギー 配管	6	0
土木・建築	22	4
土木・建築 道路	8	1
土木・建築 給水	1	0
土木・建築 マンホール	1	0
生活・住宅	5	2
生活・住宅 照明カバー	1	1
生活・住宅 家具	2	1
生活・住宅 スクリーン	8	3
生活・住宅 ファスナ	4	1
農業	2	1
農業 ビニールハウス	0	0
農業 農機	0	0
農業 鋤	0	0
物流	1	0
物流 トレイ	0	0
全体	171	38

表 3-3. 特許調査からのヒアリング先のCF加工メーカー

	本社所在地
加工メーカーB社	神奈川県
加工メーカーC社	東京都
加工メーカーF社	大阪府

3.2.3 優位性（仮説）の検討

3.2.2の既存CF用途調査からも明らかなように、CFは「軽い」「強い」「硬い」などの特徴を背景に鉄やアルミといった金属の代替として採用されている場合が多い。また、割合としては大きくないが、ガラス繊維（GF）の代替として採用されている場合もある。こうした状況を鑑み、CF再生材が対象とする領域として以下の3つを想定した。

1) 既存CFの代替

「CFのオーバースペックを補完する」ポジション。言い換えるとコスト削減ともいえる。

2) GFの代替

「GFではスペックが満たせないものの、CFほどは要求しない」ポジション。コストアップにつながる。

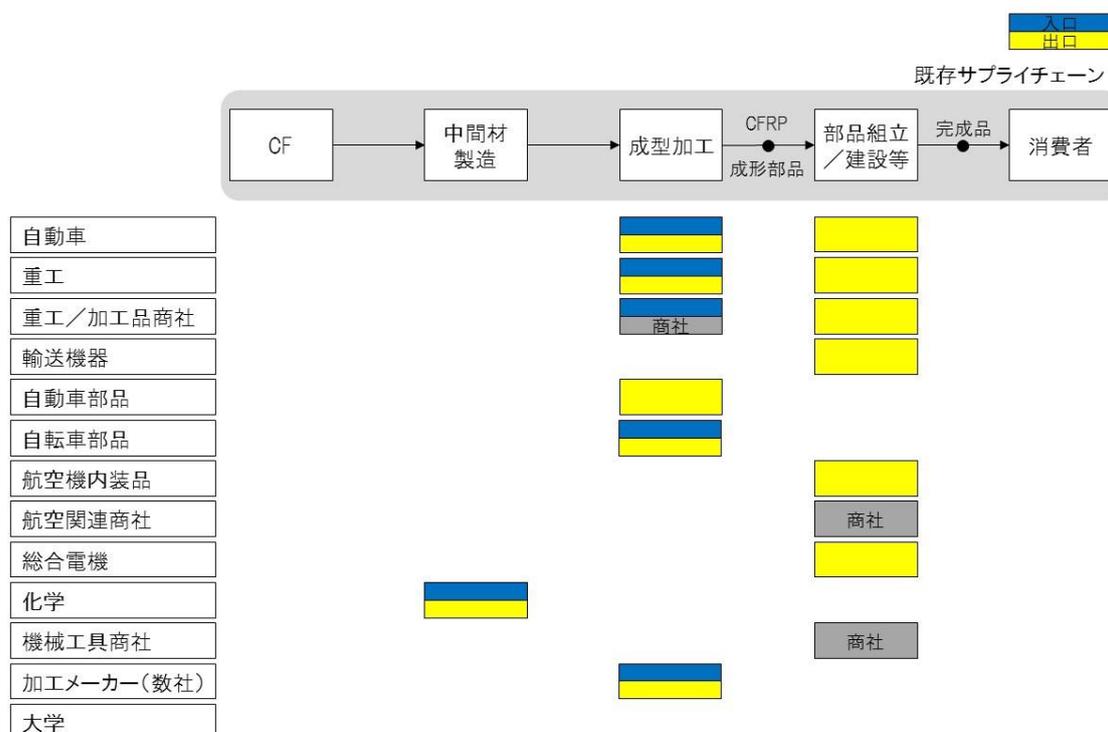
3) ステンレスの代替

主として「軽量化」の価値を提供する。

3.2.4 事業者ヒアリング

3.2.3の仮説に基づき、入口・出口の候補となり得る企業（19企業）および研究機関（1大学）へのヒアリングを実施した。概要を以下に示す。

図 3-16. ヒアリング対象事業者の位置づけ



1) CFの廃棄状況（入口）

- ・ 自動車
 - 一部の部品でCFが採用され始めている。その工程端材は原料ソースとして有望。
- ・ 重工
 - 年間約千tのCFRP端材が出ている。原料ソースとして有望。
- ・ 重工／加工品商社
 - すでに他の事業者へ引き渡している。
- ・ 化学
 - 工場に出る年間数t程度の端材をリサイクルできればよい。
- ・ 加工メーカーA社
 - 月1tの廃材が出ている。廃棄は業者に依頼している。
- ・ 加工メーカーB社
 - 製造工程で出る端材はお金を払って産廃業者に引き取ってもらっている。とはいえ、端材は加工不良程度しか出ない。
- ・ 加工メーカーD社
 - 加工の過程で出る端材がメインとなる。燃やして燃料として活用することもあるが、基本的には産廃として扱っている。一部はリサイクルもしている。
- ・ 加工メーカーE社
 - 多くは中国のOEM先で加工している。そのため、国内の自社工場だけで考えると端材はほとんど出ていない。
- ・ 加工メーカーF社
 - お金を払って焼却処理をしている。
- ・ 加工メーカーG社
 - 金属とCFRPの複合材の為、原料としては不向きであった。

2) CF再生材の採用可能性（出口）

- ・ 自動車
 - 2次部材等の用途を開発している。数年後の採用が期待される。
- ・ 重工
 - 用途検討しているが、目処は立っていない。
- ・ 重工／加工品商社
 - 一次構造部材で再生CFを使用するのは難しい。二次部材なら可能性はあるが、特性（強度など）が劣化するメカニズムを顧客に説明する必要がある。
 - 二次構造部材としてGFRPを一部使用しているが、CFRPを使用するほど強度が求められていない。また、GFRPよりもCFRPはコストがかかる。仮に、GFRPと同等の価格で、更なる特性が見込めるのであれば、再生CFを採用す

る可能性はある。

- CFを採用しているが、プリプレグ（長繊維）を貼り付けているので、工法そのまま再生CFに置き換えるというのは考えづらい。再生CFへの置き換えのためには、製法から提案してもらう必要がある。
- 導電用途はないだろうか？例えば、電磁波シールド。ECU（コントローラー系）などノイズがあると困る箇所に適用できるのでは？ただし、放熱も同時に問題となることが多い。この時、CFでは放熱に対応できないので採用が難しくなる。
- インバーターなどの箱モノで金属の代替にならないだろうか。水冷は難しいかもしれないが、空冷なら採用の可能性がありそうだ。

・ 輸送機器

- 再生CFの採用に関しては品質が重要になる。現在でもアルミ合金は再生材を使用している。
- バイクの部品に一部CFを採用している。
- ガラス繊維がCF再生材に置き換わる可能性もあるが、最終的には樹脂とコンパウンドした段階での価格勝負になるだろう。
- 国内の二輪車業界の目標では「70%をリサイクルするように」となっている。しかし、分科会で調査した結果、中古車が海外にながれているため、生産した分を回収できていないのが現状である。このような背景もあり、現状ではリサイクルまで考えてCFを使用していない。

・ 自動車部品

- 再生CFの採用に関してはコストが合うことが前提。
- パーテーションなど強度が不要な箇所は採用の可能性が高い。ただし、新規材料採用への材料認証の壁は高い。
- バンパーなどへの採用は性能次第。品質のバラつきが少ないこともポイントになる。

・ 自転車

- 価格が安ければ再生CFを使いたい。
- 一次部材ではなく、補助部材として考えている。CFペレットとして使用を考えている。

・ 航空機内装品

- 航空機に使用するためには、構造品、内装品に関らず、最終的にFAA（アメリカ連邦航空局）の認可が必要であり、求められるレベルで材料証明ができるかどうか重要。物性がコンスタントに出る（証明できる）のであれば、再生CFを採用する可能性はあると思う。
- 機内の壁は、GFのプリプレグをサンドイッチしたもの。一発仕上げなのだが、

CFだと色が黒くなるため、採用は難しい。現時点ですぐに適用可能な部位を見つけるのは難しい。しかし、機体を軽くしたいというのは永遠の課題でもある。

- ・ 航空関連商社

- 航空業界は自動車業界と異なり、素材で差別化することはない。機体メーカーが決定権を握っており、Tier 1,2企業にCF再生材を採用するインセンティブがない。つまり、機体メーカーの認識が変わらないと動き出さない。彼らは大きなビジョンで「リサイクル」を掲げているが、実際には動いていない。動き始めた時に向けてR&Dは進めている。誰かが始めると加速するだろう。そういった点でみると、自動車業界の方が動きは早いだろう。

- ・ 総合電機

- 再生CFの話聞いた際に想起した用途は、加工機の可動部に使用できないかということ。20年程前に可動部をCFRPで代替できないかという検討をしたことがある。詳細は不明だが、一つは価格面から代替を断念したと聞いている。
- 現在は、鉄の鋳物を使っているのだが、軽く・強くすることができれば、「より省エネルギーに（モーターも小さくなり、コンパクトに）」なるとともに、「より早く動かすことができるようになる。結果、時間当たりの加工量が向上し、生産性向上につながる。
- 社内で成型加工をするわけではなく、協力会社から調達しているため、「モノを作ってくれるところ」と「大まかなコスト」が見えないと、具体的に検討を進めていくことは難しい。よって、「CF再生材を取り扱う成形加工メーカー」が見つかるようであれば、その会社を紹介してくれるとありがたい。

- ・ 化学

- 再生CFのニーズが多少だが、あることはある。工場に出る年間数t程度の端材をリサイクルできれば、というもの。端材を再生CFとして自社に戻してもらえると、産廃処理費が削減されるため有り難い。すでに、再生CFを成形品にする技術はある。
- 顧客は2,3年で炉内のCF製品を交換する。その際に「リサイクルができないのか？」と言われることもある。リサイクルがあればPRになる。

- ・ 機械工具卸

- 1~2年前にCFを顧客に提案したことがある。うち、1社でトライアルを行ったが、最終的にはコストが合わなかった。直近でそれ以外にCFの取り組みは行っていない。
- 産業機械でみると、価格が合わないことが大きな問題。過去に加減速の多い（多振動の）基板実装機でCFの検討をしたこともあるが、やはり価格が合わなかった。軽くなるのでモーターが小さくなる利点はあるが、実際のところ、そこまで軽くしなくてもモーター側で制御が可能になってきている。基板実装機において

も、現状はサーボモーターからリニアモーターに移行しつつある。

➤ CFは、例えば、工作機械のローラーなど一部で使っている例もあるが、かなり限定的だ。産業機械は軽くなると困ることもあるので、鋳物を使う場合も多い。

・ 加工メーカーA社

➤ 世の中にバージンでない駄目な用途は航空機用途などに限定されるのではないか。それ以外では、再生CFが入る余地は多いと感じる。例えばコンクリートなど。具体的な引き合いもある。

・ 加工メーカーB社

➤ CFのメイン製品は搬送用ロボット。他には、工業用ロール。長繊維の加工がメイン。短繊維を混ぜた成形材料も扱っている。

➤ 再生CFにも興味を示した。

・ 加工メーカーC社

➤ バージンCFの適用領域を考えると、上から（スペックが厳しい領域から）挙げると、人工衛星等宇宙用途、産業機械用途、航空機用途、弱電や自動車用途と続くが、バージンCFの価格で対応できるのは自動車のハイエンドまでが限界と見ている。

・ 加工メーカーD社

➤ すでにチョップド再生CFを購入している。

・ 加工メーカーE社

➤ 繊維とバージンCFの不織布を固めて、プレス成型部品を試作したところ。今後、CFの用途開拓を進める。

・ 加工メーカーF社

➤ 再生CFに求めるものは価格になるだろう。

・ 加工メーカーH社

➤ 再生CFの採用については、最終的に価格の問題になる。

・ 大学

➤ 「3Dプリンタ×CF」では、Mark Forged社が先行している。しかし、複雑な形状に対応できないなどの課題も多い。この領域で、今すぐにCFの量は出ない。10年先を見ると可能性はある。

3) 再生CFの利用形態（出口）

・ 自動車

➤ コンパウンド品希望。

・ 重工

➤ CFチップ、コンパウンド品。

・ 重工／加工品商社

- コンパウンド品を買う立場なので、CFを直接買うことはない。
- 技術部門よりサンプル（抽出されたCFや加工されたペレット、及び参考の射出成型された物等）があれば見たい旨の要望があった。
- ・ 加工メーカー
 - カットファイバー、チョップドファイバーのサンプルが欲しい。

4) 価格（出口）

用途調査時に価格についてもヒアリングを実施し、事業性評価の指標とした。

5) 量（出口）

- ・ 自動車
 - 自動車用途での検討している。少量からの採用となると思われる。
- ・ 重工
 - 検討は行っているが、採用の目途は立っていない。
- ・ 重工／加工品商社
 - CF入り製品で想定すると、CFの採用量は年間百 kg 弱と少ない。
- ・ 化学
 - コンパウンド用途で、年間 50～150t の引き合いがある。
 - 工場に出る年間数 t 程度の端材をリサイクルできればよい。
- ・ 加工メーカーC社
 - CFを用いた色々な成形品の打診がきており、サンプルを作って検証をしたが、コストが合わずにビジネスにならなかった用途がたくさんある。それらをざっと集めただけでも 100t 程度はあると思われる。
- ・ 加工メーカーD社
 - 現在の再生CFの購入量を正確に把握していないが、更に 1～2t／月のニーズはある。
 - ピッチ系CF再生材にしても量（数 t～10t／月程度）が提供できるのであれば、検討したい。

3.2.5 まとめ

CFリサイクルの原料については、現状、量・質の観点から、グループ会社におけるCF製造工程からの工程不良品、および、重工メーカーの生産工程における工程不良品がターゲットとなる。本事業で検討している共用炉のCF処理量（出口）を考慮すると、年間 1,000t の廃棄量は充分な数値である。長期的には、業界内の規制が厳しく、自社で出る端材・工程不良品を自社でリサイクルしたい（クローズドループを形成したい）との思惑が強い自動車メーカーや自動車部品が対象に入る。さらに長期になると廃車や廃航空機も

入口の対象となる。

需要量(出口)については、化学メーカーで年間 50～150t、自動車、加工メーカー等を中心に、数 10t～100t 程度他の需要が見込める。長期的には、自動車業界のクローズドループが形成されると想定する。

3.2.3 の仮説に対する検証結果は下記のとおり。

1) 既存CFの代替

重工／加工品商社、自転車部品、航空機内装品のような既存CFの用途が明確な場合は、ペレットでの利用を想定した再生CFのニーズがある。一方、加工メーカーのように既存CFを幅広い用途で展開する場合は、ミルドファイバー・チョップドファイバー・カットファイバーでの利用を想定したニーズがある。

2) GFの代替

コストアップをしてまでも再生CFに置き換えたいというニーズは少ない。

3) ステンレスの代替

軽量化のニーズは根強く、再生CFに置き換える可能性はある。特に既存CFを幅広い用途で展開する加工メーカーに情報が集まる。

調査結果を基に再生CF原料(入口)と需要量(出口)の推定量を、それぞれ、表3-4、図3-17にまとめた。再生CF原料については、既述の通りグループ会社におけるCF製造工程からの工程不良品、および、重工メーカーの生産工程における工程不良品がターゲットとなり、本事業で検討している共用炉のCF処理量(出口)を考慮しても十分な再生CF原料を入手できる目処が付いた。需要量については、化学メーカーで年間 50～150t、自動車、加工メーカー等を中心に、数 10t～100t 程度他の需要が見込める。

表3-4. 再生CF原料(入口)調査結果

業種	種類	年間廃棄量
自動車	端材等	約 100 トン
重工	端材等	約 1,000t
化学	中間材	数百 t
加工メーカー	—	数～10 数 t

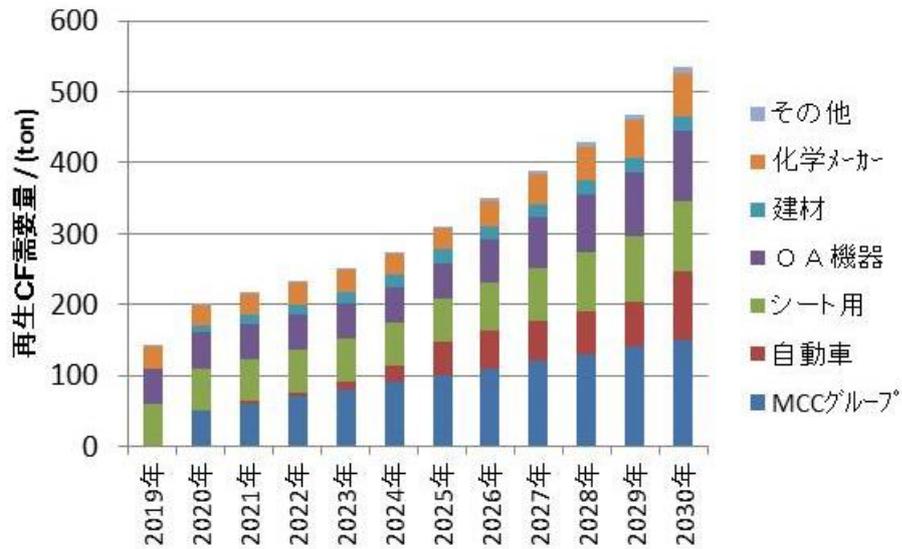


図 3-17. 再生CF需要量出口推定量

3.3 廃PVパネルリサイクルに関する調査

廃PVパネルリサイクルのビジネスモデル構築を目的として、廃棄パネル収集量の把握とPVパネルリユースに関する調査を行った。

3.3.1 九州山口地区のパネル収集量の把握

PVパネル広域収集事業に於いて、回収BOXを九州山口地域の19箇所に設置し、廃PVパネルを回収した結果を図3-18に示す。2016年12月～2017年12月の調査期間で、計1,221枚で、月平均約110枚の結果であった。これ以外に、大口の5,200枚、3,950枚、4,000枚等の問い合わせがあり、これらを合わせると、本調査期間中の廃PVパネルの発生枚数は、約1万5千枚であった。

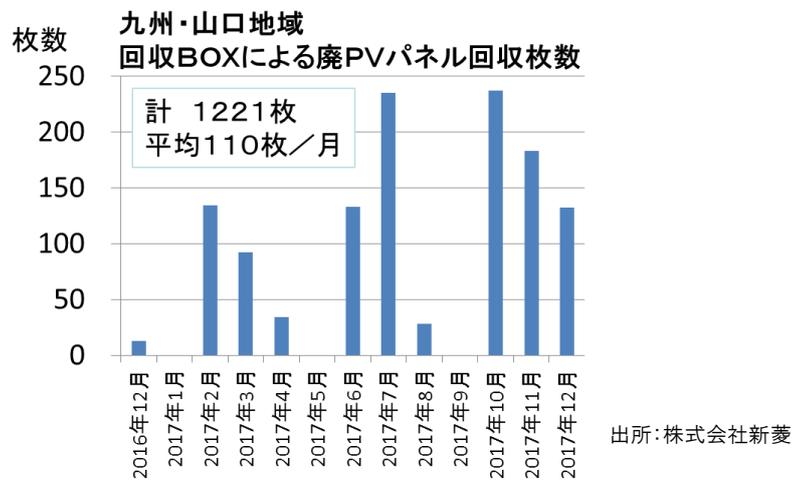


図 3-18. 九州・山口地域回収BOXによる廃PVパネル回収枚数

今回の調査結果1万5千枚は、九州経済産業局が調査した九州・山口地域の2017年PV廃棄量見込みの約5万枚（図3-19参照）の30%程度に相当するが、当社シェアを九州・山口地域の廃棄見込みの20%と置き、この後の事業性評価を実施した。

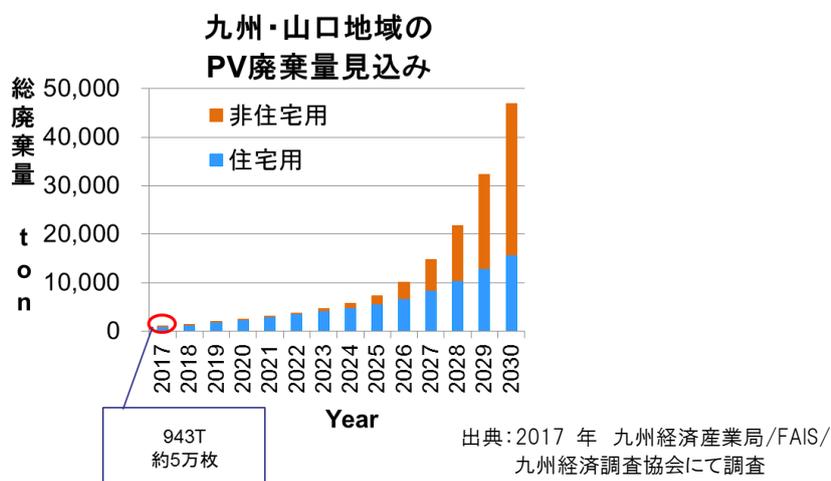


図3-19. 九州・山口地域のPV廃棄量見込み

3.3.2 リユース評価方法調査

PVパネルのリユース可否は、回収したパネルの外観を目視で確認し、パネルの変形やガラスの割れ等無いものに関して以下の手順で検査を行う。

- ・手順1：パネルの洗浄（表面の汚れを落とす）
- ・手順2：絶縁抵抗測定（漏電検査）、
- ・手順3：IV検査、EL検査（パネル発電と割れの検査）

上記検査を今後実施し、判定基準内のものをリユース品として再利用する。

4. 環境改善効果の評価

4.1 目的

当社はCFリサイクルとPVリサイクルを設備の共用化によって両方同時にリサイクル事業の実現と その早期化による環境改善を目指している。其々個別に事業化を目指せば現時点ではいずれも原料廃材が集まらず事業化時期は遅れてしまい廃棄期間が長引く事となる。よって評価としては 個別に事業化を進めた場合と共用化の場合の環境改善効果の有意差を評価する。

4.2 評価前提

4.2.1 ベースケースのシステム境界 (図 4-1 参照)

システム境界としては、CF・PVとも収集・運搬、再資源化、最終処分を対象とした。CFのエポキシのフィードストックはいずれのケースもシステム境界から除外した。またPVからのアルミ、プラはベースでもリサイクル可能としてシステム境界から除外した。

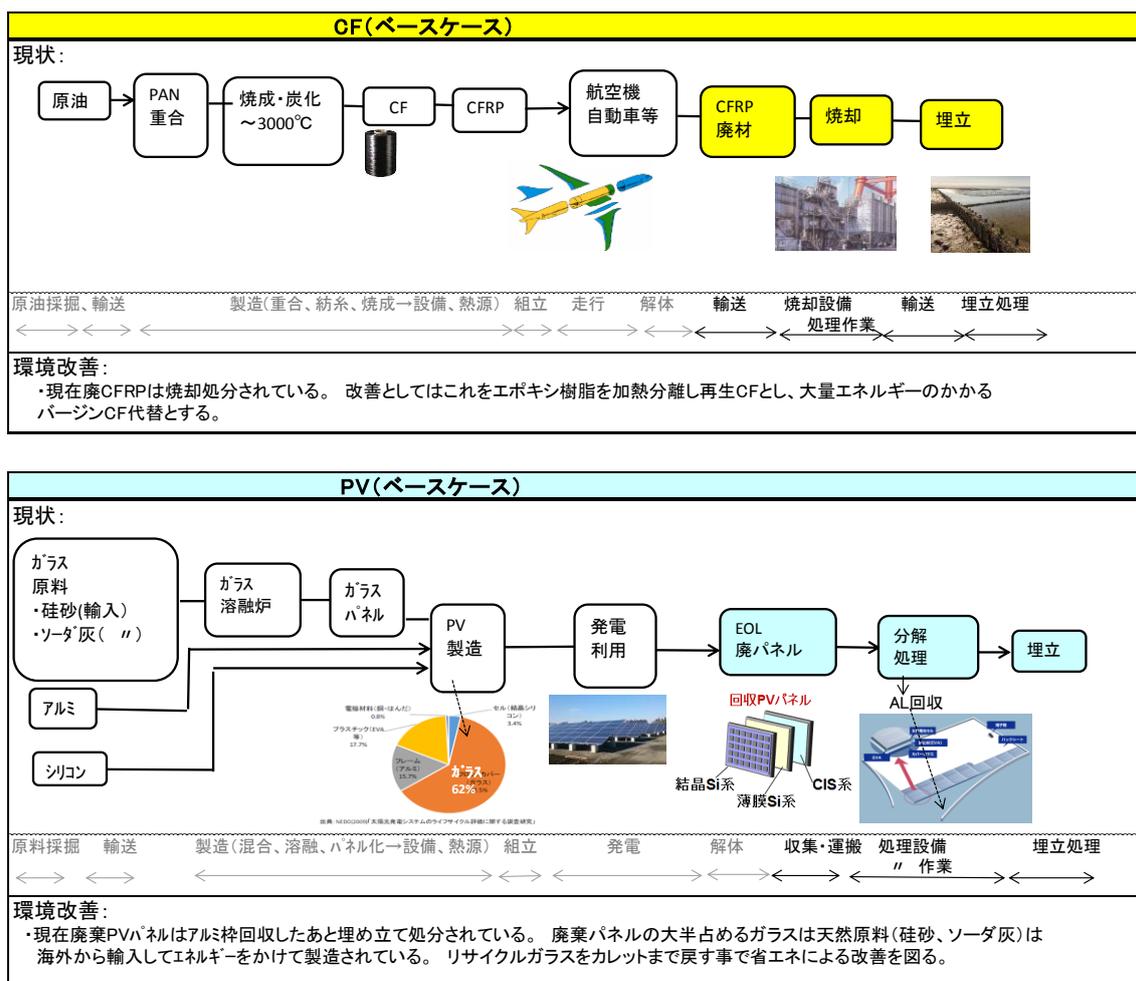


図 4-1. ベースケースのシステム境界

現在CF廃材はリサイクル使用出来ないので産廃物として焼却されて残分は埋め立て処理されている。PV廃パネルはアルミフレーム、止めビス（鉄）、ケーブル（銅）は外されてリサイクルされている。

プラスチック製端子ボックスは回収が85%、単純焼却が8%、埋め立てが7%である（NEDO/みずほ情報総研調査）。PV廃パネルの重量で62%（結晶系パネルの平均重量比）を占めるガラスその他は埋め立て処理となっている。

なおベースケースにはCF廃材処理には一般焼却の処理設備から来るCO₂発生係数と処理作業によるCO₂発生係数を入れた。PV廃パネルについても破碎作業は建設混合廃棄物としてのCO₂発生係数と埋立てに際しては産廃埋立て作業分のCO₂発生係数を織り込んだ。

4.2.2 本事業の評価のシステム境界（図4-2参照）

システム境界としては、ベースケースと同様、CF・PVとも収集・運搬、再資源化、最終処分を対象とした。また再生CFはバージンCF対比、PVからのガラスカレットは強化ガラス対比とした。PVからのアルミ、プラはベースでもリサイクル可能としてシステム境界から除外した。さらにはCFのエポキシのフィードストックはいずれのケースもシステム境界から除外した。

本事業ではCFリサイクルとPVリサイクルとは共用化にて期間切り替え運転を前提とした。それぞれの収集量に応じた運転とした。特にPVについては産業廃棄物となる為に90日以内の処理が求められるので、1か月余裕を見て2か月以内に処理終了させる運転とした。設備稼働率が上がることによるプラント発停回数が減り、無駄な電気、ガスの消費ロスの軽減効果も生じ得ると考え評価した。

今回のシステム境界外ではあるが、共用化効果には設備が2系列から1系列になることによる建設時の資機材量の軽減効果、建設工事の軽減効果、工場建屋面積縮小効果も参考のために評価した。

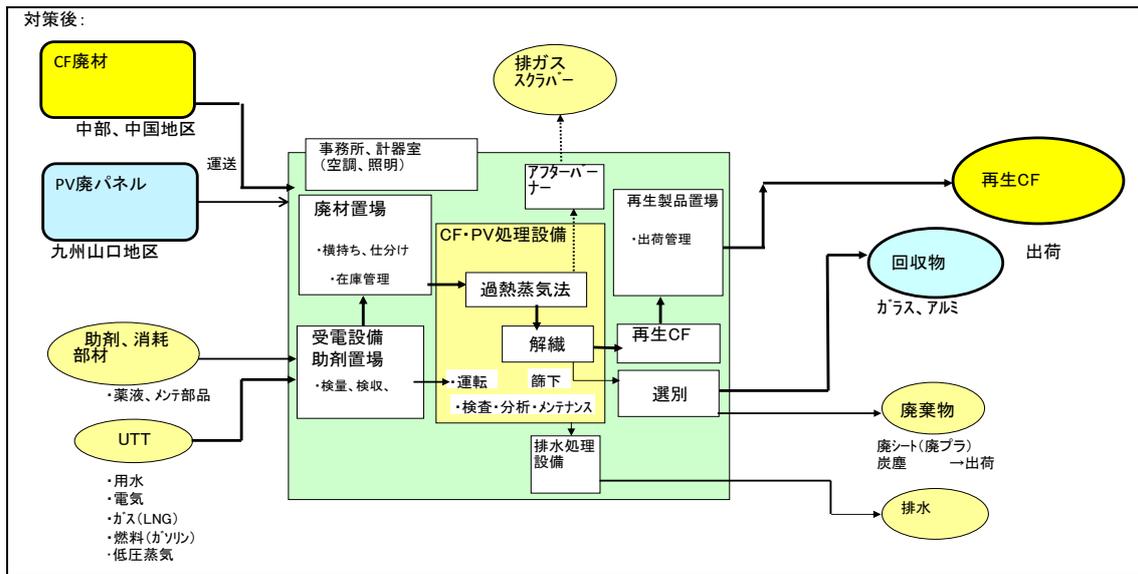


図 4-2. 対策後の評価のシステム境界

4.3 評価方法

評価は下記の手順で進めた。

- ・ **手順 1** : まず国内での CF 廃材排出量及び廃 PV パネル排出総量を算定した。
- ・ **手順 2** : 次に新菱での廃材処理量を算定した。考え方として CF リサイクルについては入口を確保し、出口は候補顧客を廻り再生 CF のサンプル提示と技術打ち合わせ等を通じて 採用時期、数量見込み情報を集計進めた。PV リサイクルはまず我々の事業所があり メガソーラーと一般住宅の普及率が高い九州山口地区での収集出来る量を集計して 当社の事業規模を算定した。
- ・ **手順 3** : 処理プロセスの熱源等の原単位を算出した。当社の処理プロセスは同一技術で CF・PV リサイクルが可能なる点に特徴がある。PV リサイクルについては NEDO 事業で開発し 8 年目で数万枚の大量処理実証まで終えた設備を保有している。無酸素で 500~600℃ で電気ヒーター不要の廃熱利用プロセスで人手のかからない連続処理設備がある。PV リサイクルの熱源原単位はここでの実証値を利用した。CF リサイクルについても PV 炉と同様の廃熱利用プロセスでの原単位を用いた。
- ・ **手順 4** : 評価に際しては事業早期化によって廃棄される廃材を収集リサイクルする量の増加による環境効果を算定した。また共用設備化によりリサイクル設備が 2 系列から 1 系列で済むことと、共用化により設備稼働率が上がり設備の発停回数が減少する事で無駄な電力、LNG が節減出来る事が考えられるので、それらの効果も評価した。
参考として、設備建設時の資機材量削減、建設工事節減で生じる環境効果も評価した。設備の建屋についても必要設備面積は縮小するのでこれも評価した。
- ・ **手順 5** : 次に手順 1 で算定した廃材量を対象にした国内へ同様な手法で水平展開した場合の環境効果を算定し循環型社会への貢献の見込みとした。算定内容は下記 3 項目であ

る。

- ・CO₂削減効果 (t/y)
- ・原油削減効果 (t/y)
- ・埋め立て量削減効果 (m³/y)

4.4 評価内容

前節に記載の手順でLCA評価を実施した。

4.4.1 国内廃材排出予想

1) 国内CF廃材 (図4-3 参照)

排出予想量は2017年富士経済「炭素繊維エリア別日本販売予想」をベースとした。CFメーカーからのプロダクトアウト廃材は販売予想の10%とし、メインとなる加工メーカー(航空機、車)からの廃材は実績等踏まえ30%として算出した。2025年以降については歩留向上を見込み、25%としている。又廃材数量はPAN系、ピッチ系合計としている。なお2020年以降CFが大量に使用されようとしている自動車分野については10年後の廃車から大量に廃CFRPが出ると思われるが、今回は評価期間が2030年までに付き、含まなかった。

2) 国内太陽電池廃パネル (図4-4 参照)

排出予想量は2010年から5年間のNEDO事業でみずほ総研により纏められた2010年～2030年の国内排出予想量とした。(NEDO「広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理手法に関する研究開発事業原簿」を参照した)

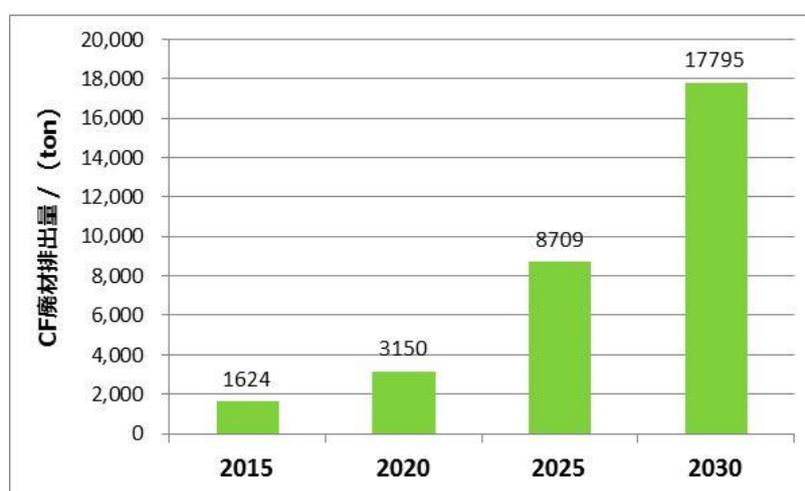


図4-3. 国内CF廃材排出量推移

出典：株式会社新菱



図 4-4. 国内廃PVパネル排出量推移

出典：NEDO/みずほ総研報告書

4.4.2 当社廃材処理計画

1) CFリサイクル (図 4-5 参照)

今回の環境省低炭素製品普及に向けた3R体制構築支援事業(以下環境省3R支援事業と記す)で入口出口の調査を進めた。その結果、入口についてはCFRPの大口ユーザーからのCFRP廃材調達が可能となった。しかし課題は出口用途である。リサイクル事業は入出口が同時に揃わないと成立しない。出口についても今回の環境省3R支援事業にて出口用途先候補企業の調査を進めた。評価サンプルも配布して廻り、技術打ち合わせで採用見込み情報も得た。現時点で考えられる2020~2030年までの積み上げ数量を纏め、この数量を当社処理計画とした。

2) PVリサイクル (図 4-6 参照)

まずは九州山口での廃PV市場を対象とした。環境省、経産省助成事業で九州経済調査協会にて廃パネル収集予想を検討した結果をベースにした。又これと同じ時期に環境省助成で九州山口地区に構築した収集体制で1年間に集めた実績数量を用い、収集可能シェアを予想した。結果としては九経調予想数量の20%であった。このシェアで各年の収集数量を算定し当社廃材処理計画量とした。このシェアは廃棄パネルの増加と共に当社の処理能力を大きくすれば上がっていくと思われる。

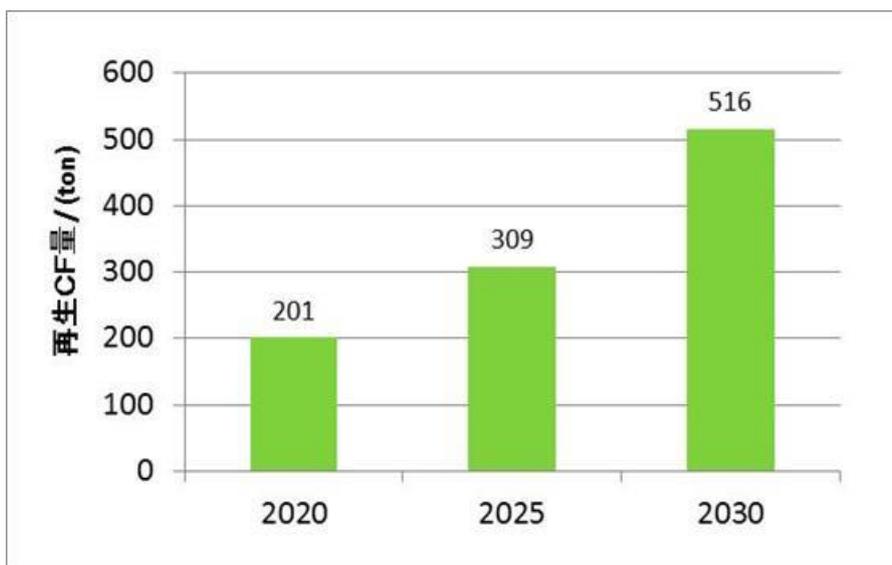


図 4-5. 当社が扱う再生CF量計画

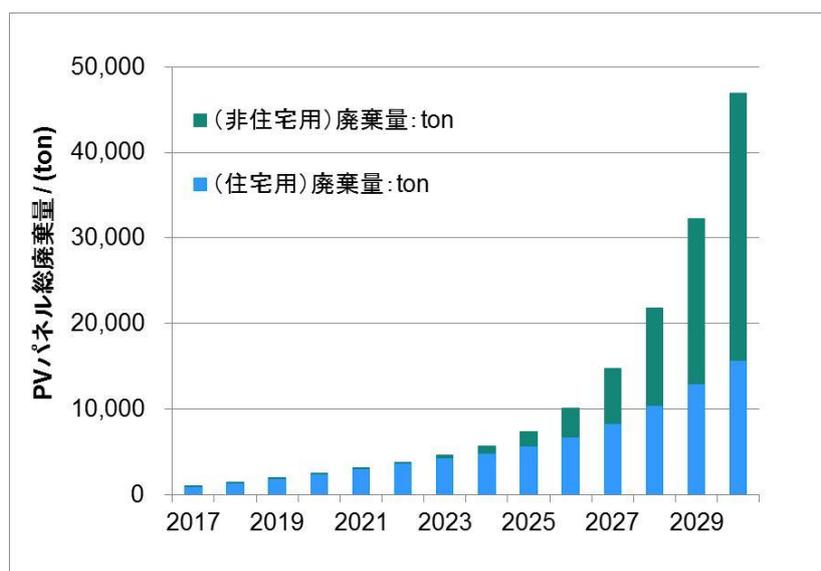


図 4-6. 九州・山口地域のPV廃棄量見込

出典：FAIS/九経調

それぞれの廃材の事例を以下の写真で示す。

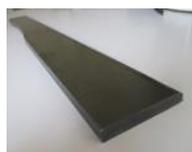


写真 4-1. CFRP廃材例
(100mm 幅×10mm 厚×2m)



写真 4-2. PV廃パネル例
(平均仕様 185W/枚×16kg/枚)

4.4.3 環境改善効果の考え方

1) CFリサイクル

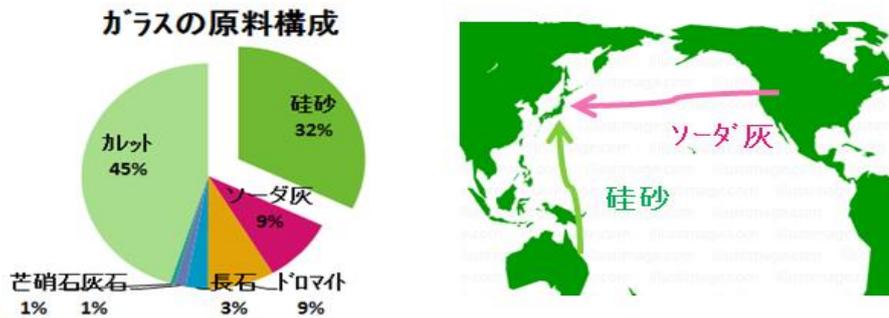
バージンCFと再生CFを製造する場合の製造エネルギー差を評価した。バージンCFは経済産業省ホームページに掲載されている値（炭素繊維協会が主体となって実証したLCA結果）を用いた（表4-1参照）。再生CFについては、我々の考えている500t-CF/yの本格共用炉を既存PV炉と本事業で導入したパイロット炉から設計を進め、廃熱使用システム型本格炉にてエネルギー原単位を算出した。

2) PVリサイクル

当社が回収するガラス、アルミについて、海外から天然原料を輸入して製造される場合の製造エネルギーと回収品との差を評価した。例えばPV廃パネル重量の60%を占めるガラスの場合であれば回収ガラスはカレットにリサイクルする。バージンガラスは海外で原料を採掘され、珪砂はオーストラリア、ソーダ灰はアメリカから輸入され、重油燃焼のガラス溶解窯で板ガラスへと製造されている。ここまでの製造エネルギーと回収ガラスのそれとの差を評価した（表4-1、図4-7参照）。なおベースケースには、アルミは現状でも回収されている。ガラスの大半は埋め立てとされているがNEDO事業でのみずほ総研のLCA評価に合わせ、被熱分解処理物であるEVA（Ethylene Vinyl Acetate）のサーマルリサイクルは実施されているとして計算した。

表4-1. 環境改善効果の考え方

項目	CFリサイクル	PVリサイクル
製造エネルギー削減効果	<ul style="list-style-type: none"> ・バージンCFと再生CFとの製造エネルギー削減効果及びCO2発生量の差が削減効果 ・PV同様に77ターナー廃熱利用を実施 ・バージンCF: 290—再生CF: 3.06 (MJ/kg-CF) ＝286.94MJ/kg-CF削減 	<ul style="list-style-type: none"> ・PVパネルからの回収ガラスをカレットに利用可能。天然資源(珪砂)を輸入しエネルギーを使いカレットまで持って行っていたものが省エネ化される。 ・NEDO実証事業で開発した廃熱利用システムで処理。 20.34MJ/KW削減
CO2削減効果	<ul style="list-style-type: none"> ・CO2削減効果は 22.5—0.158=22.342 CO2-kg/kg-CF ・現状CF廃材は焼却であり このCO2発生を織り込む。 	<ul style="list-style-type: none"> ・NEDO実証値25kg-CO2/KWを用いる。 ・*サーマルリサイクルはベースケースでも実施されているとしている。 ・廃パネル排出地からの輸送も含み評価した。
原油削減効果	<ul style="list-style-type: none"> ・バージンCFと再生CFとの製造エネルギーの差を原油換算係数25.8L/GJにて計算する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状天然資源(珪砂)からカレットまでの製造エネルギーとリサイクルするガラスの製造エネルギー差で削減効果を算出。



出典：板硝子協会データ

図 4-7. ガラスの原料構成と輸入先

4.4.4 当社対策について

1) CF・PVリサイクルの共用化による事業の早期実現について

既述のようにCFリサイクルとPVリサイクルを処理設備の共用化で事業の早期実現し収集量増加を目指している。単独で事業を行うようにすればCFリサイクルとPVリサイクルの廃材が、其々量が集まらず事業化が困難である。CFリサイクルは2024年に事業開始とせざるを得ない状況にある。PVリサイクルに至っては新たに投資しようとするれば、ここ10年程度では事業開始が出来ない状況である。

一方で、共用設備を設置すれば互いに設備の稼働率アップに補完出来、2020年には事業化出来る見込みとなる。よってこの2024年以前のCF廃材、PV廃パネルのリサイクル処理分が事業早期化による効果である。これを2020年～2023年までの廃棄量を集計するとCF廃材：868t、PV廃パネル：2799t (32.7MW)となる。この分を環境改善効果に算入出来る。

又共用化によって設備が1系列で済むようになる。これにより建設時の設備構成資機材、建設工事の削減効果がある。これは設備メーカーと本格時の設備設計を行い算出した。

工場建屋面積軽減効果には設備中枢となる加熱炉メーカー設計をベースに炉前後のアクセスエリアを各5m、炉長手方向の片側には壁との保有距離5mともう一方にはメンテナンスエリア0.8mを確保して必要面積を算出した。設備が1系列になる事での稼働率アップによる立ち上げ、立ち下げ時に発生する無駄なエネルギーについても評価に入れた。(詳細は4.4.4の3)項参照)

2) 廃熱利用プロセスについて

当社のCF・PVリサイクル設備はアフターバーナー燃焼廃熱を利用した熱効率の高い設備を利用する。これは当社における7年間のPVリサイクルでの実績をベースにしている。図4-8に本格炉で計画する概略フローを示す。

無酸素で500～600℃に加熱された廃材は複合された樹脂が分解されガス状となる。この有機性分解ガスは炉の上にあるアフターバーナーで、1000℃で燃焼され無害化される。こ

の高温ガスを再度マッフル（2重管タイプ）に戻され、外面からの加熱に使う。これにより加熱炉では電気ヒーターは不要となり、省エネでの運転が可能となる。

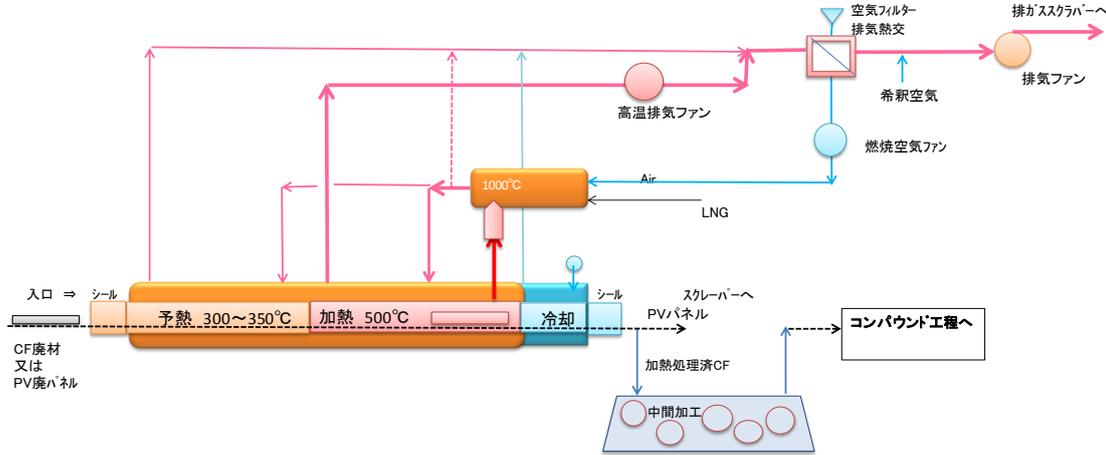


図 4-8. サーマルリサイクル概略フロー例

次に本格炉全体のヒートバランスを計算した結果を表 4-3. に示す。
 計算前提としては、再生CF生産量：500t/y、処理CFRP廃材組成：CF/エポキシ樹脂=60/40、製造歩留：90%、LNG燃焼量：1Nm³/h（消炎防止流量）、LNG燃焼熱：10,000kcal/Nm³、エポキシ樹脂燃焼熱量：7349kcal/kg（実測値）、炉体面積当たりヒートロス量：234Kcal/m²（メーカー設計値）、炉長：20m、搬送トレイ重量：33kg/個、メッシュベルト面積当たり重量：10.9kg/m²、ベルト搬送速度：20m/h とした。また全体のヒートバランス計算と共に本事業のプロセスで使用する過熱水蒸気もアフターバーナーの廃熱で賄えるかについても併せて計算した。

表 4-3. 本格炉全体のヒートバランス

入熱		epo燃焼熱量	274,802	kcal/h
		LNG "	10,000	"
	燃焼空気	3,289	"	
	炉内供給N2	2,773	"	
計		290,865	kcal/h	

出熱		ヒートロス	炉本体	34,164	kcal/h
			トレイ	1,485	"
	メッシュベルト	19,620	"		
	製品CF	13,643	"		
	出口排気ガス	N2	2,773	"	
		300°C			
		分解ガス	燃焼ガスに	"	
		300°C	含む		
		燃焼ガス	42,524	"	
		300°C			
計		114,209	kcal/h		

差異(入-出)		計	176,655	kcal/h
	ヒートロスは全体の		39%	相当

結論として、入熱と出熱の差異は、十分に廃熱利用を可能にする燃焼熱であった。余剰となる熱量で過熱蒸気も 200kg/hr 製出する事が出来、当該プロセスに充足可能であると結

論付けた。P Vリサイクルでは加熱する物（ガラス）と燃焼する物（E V A）の比率が6 : 1と小さいが、この比率でも廃熱利用を実施出来ている実績もある。

3) プラント発停時に発生するロスについて

C Fリサイクル、P Vリサイクル個別に事業化した場合の発停回数は、稼働率が低くなる為に共用化と比べ設備の発停回数に違いが出て来ると予想される。加熱炉で行う為に昇温と降温時には再生製品は製造出来ない為に電力使用量、LNG使用量、用水使用量にロスが生じる。 図 4-9 に加熱炉発停時の電気、LNG、窒素等のロスになる値を示す。

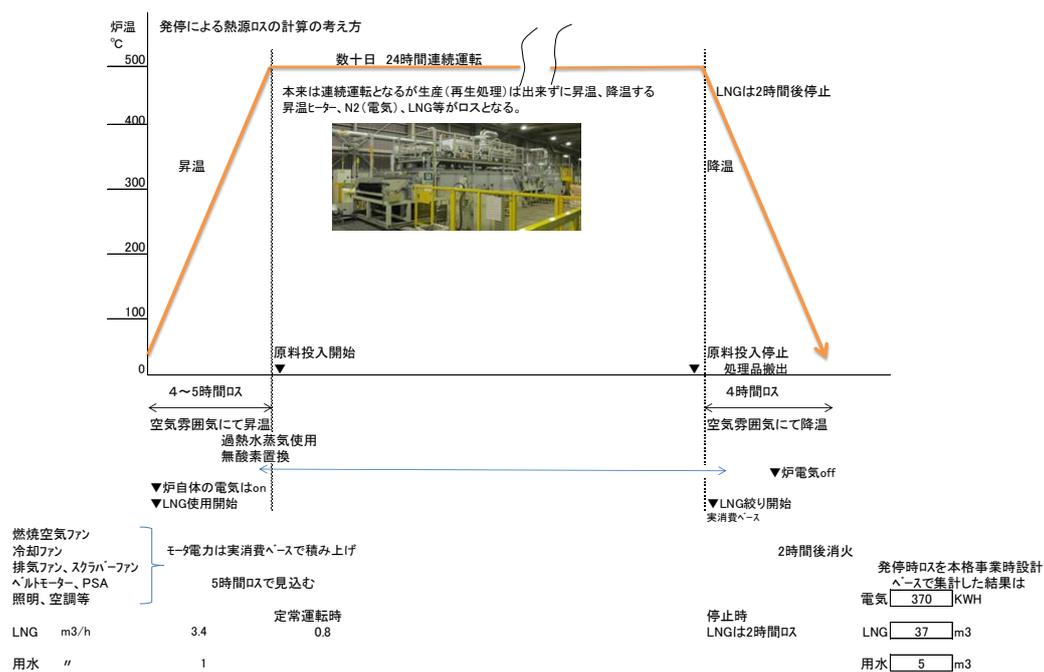


図 4-9. プラント発停時のロス

また、この場合のプラント発停回数を図 4-10 に示す。2020年と2024年のケースを例示した。

2020												
PV集積: 産業廃棄物は最長90日以内に処理する必要があるため、60日の収集・処理のサイクルとした PV処理: 388 t/y (4.5 MW/y)、PV処理所要日数: 59日 (10日*6 RUN) CF処理: 201 t/y、CF処理所要日数: 133日 (22日*6 RUN) ※ 実稼働は実稼働												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
PV集積	60		60		60		60		60		60	
PV処理	10		10		10		10		10		10	
CF処理	22		22		22		22		22		22	

2024												
PV集積: 産業廃棄物は最長90日以内に処理する必要があるため、60日の収集・処理のサイクルとした PV処理: 922 t/y (10.7 MW/y)、PV処理所要日数: 141日 (24日*6 RUN) CF処理: 273 t/y、CF処理所要日数: 180日 (30日*6 RUN) ※ 実稼働は実稼働												
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
PV集積	60		60		60		60		60		60	
PV処理	24		24		24		24		24		24	
CF処理		30		30		30		30		30		30

図 4-10. 発停回数試算例

結果としては個別に事業化した場合は両方合わせて12回発停となる。共用化した場合は上記のとおり6回で済む事になる。1回当たり電気が370KW、LNGが37m³、用水が5m³の6回分を共用化の効果として算入する。

4) リサイクル対象物の輸送方法について

(1) CFリサイクル (表 4-4 参照)

福岡県でのCF廃材はまだ先になるものと予想される。当初はCFRP廃材の多くは中部地区で排出されると想定し、中部地区からの輸送についていくつかのケースを検討した。それらはトラック輸送、JR、船輸送である。トラックは三菱ケミカルグループでの帰りの利用のケースがあるがこれは既に帰りの利用は徹底していて余裕度はなく、また特に下り便については人件費が高騰中との事で採用しない事にした。船便は納期さえ拘らなければ有利な輸送手段である。ルートは廃材発生箇所⇒(トラック横持ち輸送)⇒大阪南港⇒門司⇒(トラック横持ち輸送)⇒黒崎となる。発生箇所からの輸送距離が長くなる場合にはコスト的に不利になる。JRはトラックに比べ低CO₂輸送であるがこの場合はJRコンテナを使う事になる。31ftコンテナ(幅2.35m×長3.65m×高2.25m 48m³、積載重量13.8t)と12ftコンテナ(幅2.23m×長3.65m×高2.25m 18.7m³、積載重量5t)がある。31ftコンテナは到着後のハンドリングで小倉までトラックで取りに行く必要があるが12ftコンテナは黒崎の三菱ケミカル事業所内JR引き込み線で搬入が可能である。これらの方法を検討した結果、JRでかつ積載量の大きい31ftコンテナでの輸送とした。

(3) PVリサイクル (表 4-4 参照)

九州近隣県に設置したストックヤードからの輸送を前提とした。これは、NEDO事業

で8年間、環境省、経産省支援で構築してきた回収体制に基づく。また生枚数の多い個別の輸送には最近のIT技術を駆使した効率の良い輸送法も検討中である。

表 4-4. リサイクル対象物の輸送方法

輸送法	CFリサイクル	PVリサイクル
現状	<ul style="list-style-type: none"> ・廃材発生地A⇒焼却炉保有会社までは10tトラックで運搬 ・廃材発生地B⇒焼却炉保有会社までは4t7-ムロール車で運搬して処理している。(実態に合わせて評価した) 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状九州各県廃棄パネルのアルミ、配線材等回収し易い物の回収は各近隣の業者で行っている。その運搬は其々下記距離を想定した。30km、2tトラック、積載量300kg ・ここから埋め立ては各県毎の近隣埋立場を想定し60km、10tタンク、5t積載とした。
対策後	<ul style="list-style-type: none"> ・遠距離輸送はJRコンテナにて小倉まで輸送 ・小倉から黒崎の当社までは10tトラックにて運送 ・近距離輸送は4t7-ムロール車で直接黒崎の当社まで運送する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・九州各県のストックヤードまでの1次運搬は30km、2tトラック、積載量300kg ・ストックヤードから北九州当社までの2次運搬は実際の距離(約90~370km)、10tトラック、積載量1500kgとした。 ・リサイクル工場⇒回収利用企業、バックシート焼却企業 距離50km

4.4.5 LCI原単位

以上の条件を踏まえ、CFリサイクル、PVリサイクルを単独で実施した場合と、本事業の目標である共用設備で実施した場合の評価に用いたLCI原単位を表4-5に示す。

表 4-5. LCI原単位

項目	CFR/PVR個別処理の場合				共用の場合 CFR/PVR
	CFR		PVR		
処理能力	500t/y		2150t/y	2150t/y(25MW/y)	CFR=500t/y PVR=2150t/y
通常運転時の LCI原単位	電気 0.16KWH/kg	*77ターボターモ廃熱利用システム実施	0.357KWH/kg	5.71KWH/枚 *16kg/枚・結晶系 *パイロトターモ分	*CF/PVの同様の廃熱利用システム運転とする。
	LNG 0.025m3/kg		0.00625m3/kg	0.1m3/枚	
	用水 0.0001kg/kg		0.0001 "	0.0008m3/枚	
	蒸気 *プロセス廃熱で確保可能		*不要	*PVは現状電気ターモは無して廃熱利用システム実行中	

4.4.6 データソース

LCA 評価に使用した各アイテムのデータソースは表 4-6 のとおりである。

表 4-6. L C I 原単位とその出典

項目	CO2排出量(kg-CO2)	データソース	備考
・使用utt 電気 LNG 用水	0.035578 kg-CO2/kg 3.3506 " 0.1457 " /m3	1998年度電源構成、電中研原単位 IDEAv2、環境省温対法ガイドライン IDEAv2、工業用水	製造(再生) に使用
・炉構成材料 SUS材 SS材 断熱材 耐熱煉瓦	4.48 kg-CO2/kg 2.27 " 0.784 " 1.56 "	IDEAv2 IDEAv2 IDEAv2 IDEAv2	設備建設に 使用
・処理作業 一般焼却 CF埋立 PV破砕 PV埋立	0.0279 kg-CO2/kg-CFRP 0.00715 " 0.0195 kg-CO2/kg 0.00715 "	IDEAv2—廃焼却 IDEAv2—産廃埋立て IDEAv2—建設混合廃棄物 IDEAv2—産廃埋立て	CF ⁺ —スライン " PV ⁺ —スライン "
・埋め立て削減効果 CF嵩比重 PV "	1.14 ton/m3 1 "	日本産業廃棄物処理振興センター " "	PV ⁺ —スライン PV ⁺ —スライン

4.4.7 LCA 評価結果

1) 当社での事業化効果

当社でのCFリサイクルとPVリサイクルの事業早期化効果と年次的環境効果を表 4-7 に示す。

表 4-7. 当社での環境効果

CO2削減効果 (当社想定事業規模ベース)	CFR・PVR共用効果 (ton)
事業早期化による効果	26,344

事業早期化効果も含めた事業全体での環境効果を図 4-11. に示す。

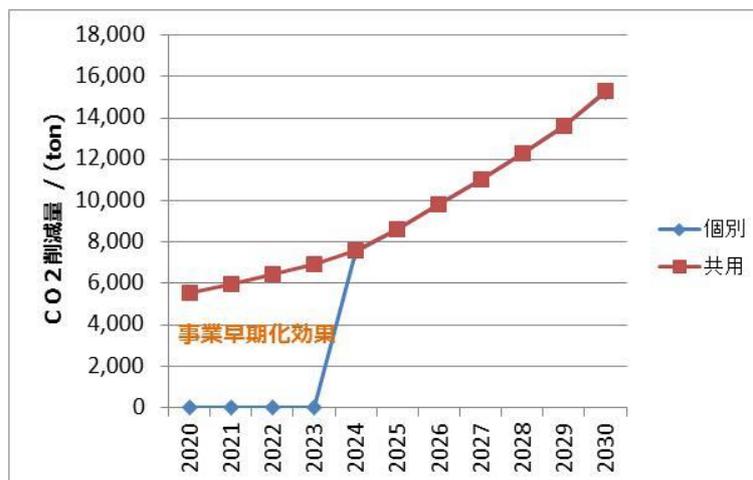


図 4-11. 当社の CO2 削減効果

結論としては上記のとおり 4 年分の早期化効果が CO2 削減量で 26,344t となった。処理量が経年的に増加し 2030 年では 16,000t/年規模になると見積もった。これは現在当社のリサイクル事業による CO2 削減量 15 万 t/年からしても効果は大きい。尚、CO2 削減量 26,344t の内数として、共用化によるプラント発停回数削減による CO2 削減量 8t が含まれている。またこの 4 年分の CO2 削減量の 99%は CFR によるものであり、PVR は処理量が少ないため 1%、321t に止まった。

参考までに、共用化により設備が 1 系列で済む効果として、プラント建設軽減による LCA 効果（資機材削減、工事軽減、工場建屋面積縮小分）と設備稼働率アップによるプラント発停時のエネルギーロス进行评估した結果表 4-8. に示す。設備資機材・建設工事削減効果：15t、工場建屋縮小効果：13t となり、合計で 28t の CO2 削減効果となった。

表 4-8. 2 系列から 1 系列化による CO2 削減効果

CO2削減効果(2系列個別処理→1系列共用化効果)	CFR・PVR共用効果 (ton)
・プラント建設LCA効果(資機材削減、建設工事)	15
・工場建屋縮小によるLCA効果	13

2) 循環社会への貢献度

当社が計画している共用設備で全国的に水平展開した場合の環境効果を図 4-12~14 に示す。

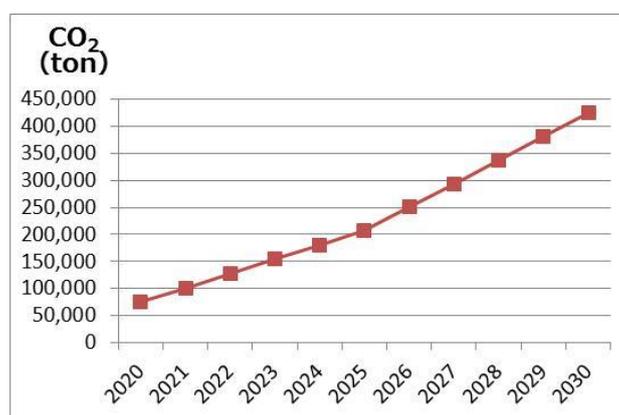


図 4-12. 全国展開した場合の CO2 削減量 (t)

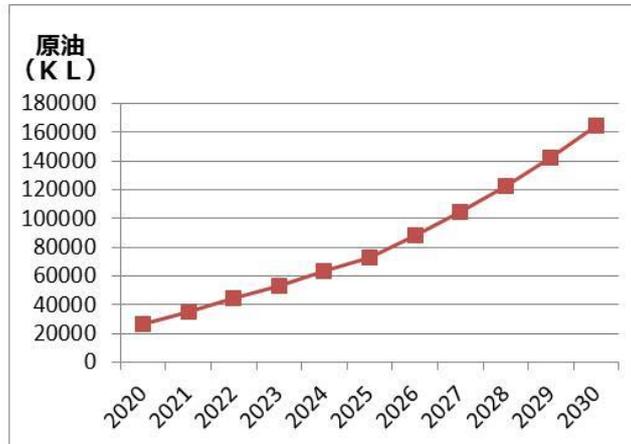


図 4-13. 全国展開した場合の原油削減量 (KL)

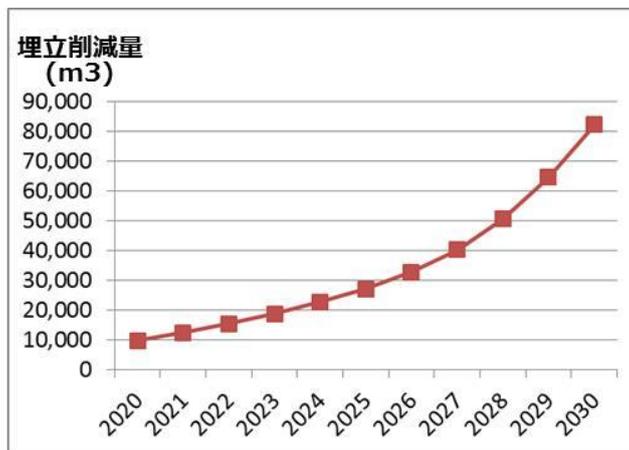


図 4-14 全国展開した場合の埋立削減量 (m3)

3) 低炭素製品の一層の普及について

本事業を通じ今後大きな環境問題となる事が予想されるCFリサイクルとPVリサイクルについて

同時に解決する糸口となるように事業化に向けて進めて行きたい。これにより下記の観点での低炭

素製品の普及が見込まれる。

(1) エネルギー原単位の低いCF再生材の普及

本事業を通じてバージンCFやアルミ材と比較して、製造エネルギーの小さいCF再生材の普及で省エネ社会の推進に貢献出来る。CFは化学的安定度が高く通常環境では分解もせず、焼却処理となっても多くのエネルギーを消費しコストもかかる。これがCF再生材普及で大幅に軽減可能である。

(2) CF再生材の適用範囲拡大による自動車、航空機等の燃費改善

現状のバージンCFの用途先である自動車、航空機において 再生CF材の適用部品の拡大を狙っている。 これにより重量軽減され燃費効率の良い自動車等の普及に寄与すると考えている。

(3) PVパネル再生材の普及に伴う低炭素ガラスの普及

既述のとおり必要エネルギーの90%はEVA燃焼熱を利用した廃熱利用システム（NEDO事業で開発した汎用PV処理技術）であり高品質のPVパネル再生材をガラスカレットとして利用する事で、従来のガラスよりも製造時のCO2発生量が少ない低炭素ガラスの普及が見込まれる。

(4) リサイクルスキーム確立による再生可能エネルギーであるPV普及の推進（阻害要因の排除）

PVは発電時のエネルギー消費量がゼロである。化石燃料を用いた発電に比較して低炭素な製品と言える。一方、廃棄PVを埋め立て処理した場合、PV廃棄のピーク時（2040年頃）には約80万t（全埋め立て量の6%に相当）になると予測されており、廃棄PVのリサイクル可否がPV普及を妨げる社会的課題となり得る。今後上記課題を社会全体でどの程度問題視するか次第ではあるが 仮に近年のPV導入量（固定価格買い取り制度情報公開用ウェブサイトより2015年時点で434万Kw）の10%が、各自治体の施策等により規制対象となった場合、約40万Kw分が妨げられる事となる。

5. 事業可能性評価

5.1 コストおよび投資回収期間に関する考察

5.1.1 目的

前章で触れたとおり、当社はCFリサイクルとPVリサイクルの設備共用化によって、両方同時のリサイクル事業の実現とその早期化による環境改善を目指している。それぞれ個別に事業化を目指せば現時点ではいずれも原料廃材が集まらず事業化時期は遅れてしまい廃棄期間が長引く事となる。よって評価としては 個別に事業化を進めた場合と共用化の場合の事業性を評価し、事業を開始できる時期を見積もった。

5.1.2 評価方法

評価は下記の手順で進めた。

- ・ 手順1 : 国内でのCF廃材排出量及びPV廃パネル排出総量を算定
- ・ 手順2 : 次に当社での廃材処理量を算定
- ・ 手順3 : 現時点で想定している規模の本格炉を前提として、CFリサイクル単独の場合のCF再生コスト及び共用化炉ベースのCF再生コストの試算
- ・ 手順4 : 事業性評価として投資回収期間を試算

5.1.3 評価結果

手順1の数量は図4-3, 4に示した数値を用いた。また手順2の当社で算定した廃材処理量を表5-1に示す。

表5-1. 当社で扱う廃材処理量の推移

項目	単位	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年
		1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
CF数量	ton	141	201	216	231	249	273	309	350	391	432
PV数量	ton	374	494	620	762	923	1,137	1,470	2,026	2,150	2,150

手順3で試算した各ケースの再生コストを相対比較した。コスト試算の前提として、設備投資額は4億円、減価償却は設備8年定額、建屋31年定額とした。その他の修繕費、金利、労務費等は当社の基準値を適用した。収支計算期間は2020年から2027年の8か年としその期間の平均コストとして試算した。設備能力はCF基準で500t/年、PV基準で2,150t/年（太陽電池パネル出力基準で25MW/年）とした。

図5-1に、CFR単独の場合のCF再生コストを100とした時の共用炉ベースのCF再生コストを比較して示した。図が示す通り設備共用化により再生コストが約3割のコスト削減効果があると見積もった。同様にPVR単独の場合と共用炉ベースのCF再生コストを図5-2に示した。PVRの場合は、設備共用化により約6割の再生コスト削減効果があると見積もった。これらの効果発現は共用化による投資額の削減、省人化、稼働率アップが主要因である。

手順4で投資回収期間を試算した結果、CFR単独では2024年以降、PVR単独では当

面投資回収不能となったが、一方で共用炉ベースでは2020年以降であれば、当社基準で事業開始できる投資回収期間内となった（図5-3参照）。

以上より、CFR、PVR単独では、事業可能開始年は2024年以降となるが、共用炉では2020年から事業開始可能と結論付けた。

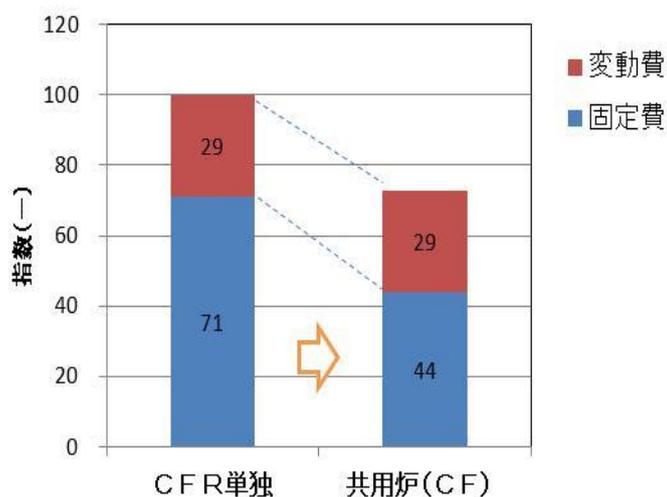


図5-1. CFRの再生コスト比較

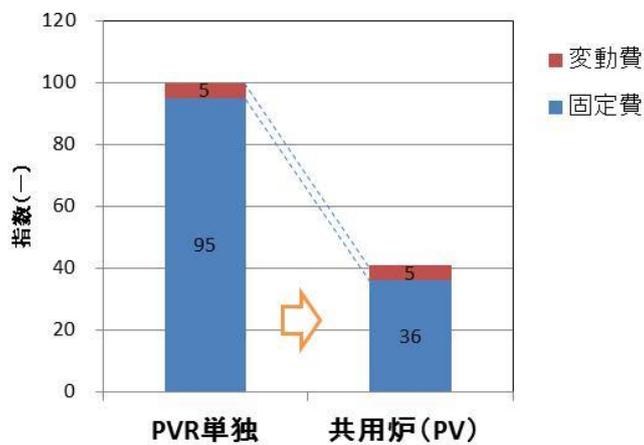


図5-2. PVRの再生コスト比較

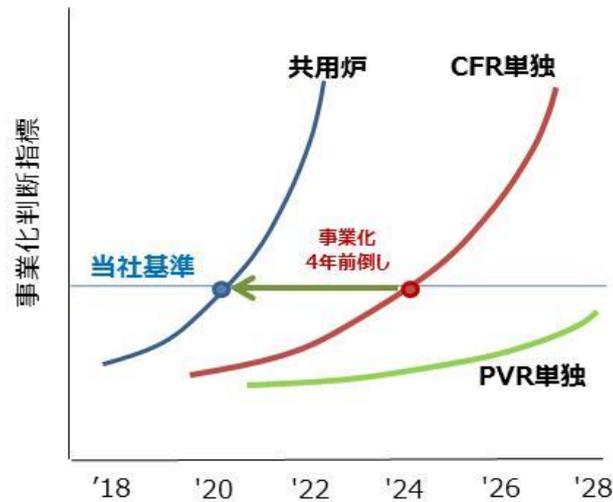


図 5-3. 事業化判断イメージ

PVリサイクルについては、2030年頃までは収集量がまだ少なく単独ではペイしないが、共用炉で廃PVパネルも処理出来るという事の効果は大きい。

5.1.4 結論

コストおよび投資回収期間に関する考察の結果、CFリサイクル、PVリサイクル単独では、事業可能開始年は2024年以降となるが、共用炉では2020年から事業開始可能と結論付けた。

5.2 CFR・PVRの原料および需要に関する考察

CFRの原料確保については、現状、量・質の観点から、グループ会社におけるCF製造工程からの工程不良品、および、重工メーカーの生産工程における工程不良品がターゲットとなる。本事業で検討している共用炉のCF処理量を考慮すると、年間1,000tの廃棄量は十分な数値である。長期的には、業界内の規制が厳しく、自社で出る端材・工程不良品を自社でリサイクルしたい（クローズドループを形成したい）との思惑が強い自動車メーカーや自動車部品が対象に入る。さらに長期になると廃車や廃航空機も入口の対象となる。

CFRの需要については、化学メーカーで年間50~100t、自動車、加工メーカー等を中心に、数10t~100t程度他の需要が見込める。長期的には、自動車業界のクローズドループが形成されると想定する。

PVRの原料については、当面は初期不良品や災害等による破損品が処理対象となる為、

本事業で検討している共用炉で処理可能な量である。また廃PVパネルは産業廃棄物として引取り処理するため、現時点で想定される産廃処理費用（現状の実態処理価格）が通用すれば十分事業可能となる。

一方でPVRの再生品の需要については、当面の用途としては建材用ガラスファイバー原料であり、質・量ともに可能性はあるが、将来的にはガラスカレットとして板ガラスメーカーに戻ることが求められているが、現時点では板ガラスメーカーが要求するリサイクル量を供給することは困難な状況である。

6. 本事業のまとめ

表 6-1 に本事業で取り組んだ各課題に対する達成状況まとめを表 6-1 に示す。

表 6-1. 本事業の達成状況まとめ

	項目	課題	達成状況
①	共用パイロット炉 建設・実証実験	・設備材質、運転法、大規模設備建設費 ・ランニングコストの検討	・大規模設備建設費概算完了。運転法完了。 ・ランニングコスト推算完了
②	小型炉熱処理 検討	・処理温度、処理時間、品質（繊維強度、 樹脂残渣量）の確認	・熱分解処理温度、時間を確定 ・再生炭素繊維の機械特性、樹脂残渣量およびそのコンパウンド品の機械特性 確認済み
③	CF入口（原料） 調査	・グループ会社から排出される廃材の調査 ・グループ会社の大手顧客から排出される 廃材の調査 ・市場から排出される素性が明確な廃材 の調査	・親会社の三菱ケミカルからSMC生シート入手 ・グループの大手顧客からの工程端材入手 ・市場から排出される廃CFRPを購入開始
④	CF出口（製品） 市場調査	・用途の洗い出し ・優位性（仮説）の検討 ・事業者ヒアリングによる情報収集	・自動車、航空機、家電、建材、水素タンク、スポーツ用品、部材加工メーカー 等と用途開発を実施中 ・バージン繊維の特長を維持した再生CFを顧客適及性のある価格で供給可能 ・顧客候補20数社を訪問し、直近および将来の出口情報を収集
⑤	PVパネル リサイクル検討	・パネルの「割れ」を防ぐ温度条件の確立 ・不純物残渣量の低減 ・九州山口廃パネル収集量の把握 ・リユースパネル評価方法調査	・温度条件のシミュレーション完了 ・九州山口地区の廃PVパネルの収集実績データ把握完了 ・リユース業者からリユースパネル評価方法に関する情報収集完了
⑥	LCA評価	・CF/PVリサイクル設備共用化によるLCA 低減効果確認	・共用化によるLCA削減効果確認 ・早期事業化による累積CO2削減量は26,370トンと試算
⑦	コスト評価	・CF/PV単独リサイクルコスト把握 ・共用炉でのリサイクルコスト把握	・CF/PV単独リサイクルコスト試算完了 ・共用炉でのリサイクルコスト試算完了
⑧	事業性評価	・事業開始可能年の推測 ・事業採算性把握	・共用炉の場合は2020年から事業開始可能。その時の投下資本回収期間は4年 ・CF、PVリサイクル単独の場合は、2025年以降から事業開始となる。

7. 今後の見通し

事業化に向けた今後のスケジュールを図7-1に示す。

今後の課題	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
事業化検討 (本格炉建設)	共用パイロット炉によるCFR中量サンプルワークと営業販売 投資判断	本格炉建設	本格炉による営業生産	
CFR大型案件対応	開発	拡大検討～量産検討		上市
PVパネル・リユース事業	リユースPVA [®] 販売先と	契約後、PVA [®] 社・リユース事業開始		
共用パイロット炉で PVパネル・リサイクル 事業検討	共用パイロット炉の 産廃処理設備申請	認可 共用パイロット炉での PVA [®] 社・リサイクル		

図7-1. 今後のスケジュール

CFリサイクルおよびPVリサイクルの今後の課題は下記を想定している。

CF再生材については、品質保証の観点から、使用したCF素性や異物混入の有無の分かった特定ルートからの再生CF原料を使用するのが好ましいが、将来、市場に大量に回るCFRPのリサイクル処理のためには、分別回収方法の構築や異物混入検査・除去技術の開発が望まれる。特に今後自動車用途で進行すると思われるマルチマテリアル化に向け、CF回収だけではなく、併用されたスチール、アルミ等の他材料の回収も同時に可能なリサイクルの手法の開発が望まれる。加えて再生CF利用促進のためには、早期の再生CF標準規格化が望まれる。

PVパネルリサイクルについては、リユース事業が先行するが、高品質のPVパネル再生材を、従来のガラスよりも製造時のCO₂発生量が少ないガラスカレットとして利用するビジネスモデルを早期に構築することで、PV普及の阻害要因の一つとなっているリサイクル可否の問題を解消でき、PV普及に拍車が掛かり、環境負荷低減に一層貢献出来るものと思量する。

以上